

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Krátkovlnná anténa operátorského pracoviště OK2KQM

SW Antenna for Ham-club OK2KQM

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Vašut**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Krátkovlnná anténa operátorského pracoviště OK2KQM**
SW Antenna for Ham-club OK2KQM

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Operátorské pracoviště vysokoškolského radioklubu OK2KQM dlouhodobě postrádá krátkovlnnou drátovou anténu. Student má za úkol analyzovat prostorové možnosti, typy drátových antén, vybrat vhodný typ antény, provést simulace, samotnou konstrukci a optimalizaci KV drátové antény.

Vypracovaná práce bude splňovat následující body zadání:

1. Popis možných variant řešení KV antén.
2. Výpočet a simulaci antény.
3. Konstrukci antény.
4. Ověření funkce měřením ve školním radioklubu OK2KQM.

Seznam doporučené odborné literatury:


[1]IKRÉNYI, Imrich. Amatérské krátkovlnné antény. 2. dopl. vyd. Bratislava: Alfa, 1972.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 30. června 2017


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za velmi cenné rady, čas, odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat mému bratrovì Ing. Richardovi Vašutovi, Ing. Martinovi Tomisovi a Mgr. Janě Trojkové, Ph.D. Děkuji také své rodině i přítelkyni za podporu při studiu.

Abstrakt

Nejdůležitější součástí radioamatérských zařízení je výkonná anténa pro přijímač i vysílač, protože od ní závisí výkonová přijímací úroveň přijímaného signálu. Je proto potřeba vhodný výběr antény. V krátkovlnném pásmu jsou rozměry antén v řádech desítek metrů a pro potřeby univerzitního radioklubu OK2KQM je výhodné používat jednu anténu na více pásmech.

Cílem diplomové práce je popsat možné varianty řešení krátkovlnných antén a navrhnout funkční krátkovlnnou drátovou anténu.

Hlavním cílem je výroba drátové antény a její nasazení do reálného provozu pro potřeby radioklubu OK2KQM, který sídlí na Vysoké škole báňské – Technické univerzity Ostrava.

Klíčová slova

Anténa, kmitočtové spektrum, radioklub

Abstract

The most important part of shortwave device is a powerful antenna to the receiver and transmitter, because it depends on the signal strength. It is therefore necessary to select a suitable antenna. It is necessary to choose the appropriate type of antenna. The shortwave bands antenna dimensions are tens of meters and for the needs of HAM club is appropriate to use one antenna for multiple bands.

The purpose of this magister thesis is to describe possible solutions of HF antennas design functional wire antenna.

Main premise of this thesis is production wire antenna and its utilization for radio club at VŠB-Technical University of Ostrava.

Key words

Antenna, radio club, frequency spectrum

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
C	F	Kapacita
f	Hz	Frekvence
f₁	Hz	Dolní kmitočet
f₂	Hz	Horní kmitočet
I	A	Proud v místě napájení
k	-	Činitel zkrácení
L	H	Indukčnost
L_D	m	Délka direktoru
L_R	m	Délka reflektoru
L_Z	m	Délka zářiče
N	-	Počet závitů
R_r	Ω	Vyzařovací odpor
U_{odraz}	V	Amplituda napětí odražené vlny
U_{přímá}	V	Amplituda napětí přímé vlny
X_C	Ω	Kapacitní reaktance
X_L	Ω	Induktivní reaktance
Z	Ω	Impedance
Z₁	Ω	Vstupní impedance
Z₂	Ω	Výstupní impedance
Z_{in}	Ω	Vstupní impedance antény
Z_n	Ω	Impedance napáječe
Γ	-	Činitel odrazu
μ	H·m ⁻¹	Permeabilita prostředí
μ_h	kg/m	Hmotnost na jednotku délky lana
Υ	[N/m ³]	Měrná hmotnost vodiče
σ	[N/m ²]	Dovolené vodorovné namáhání vodiče
S	[m ²]	Obsah průřezů cívky

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ATU	Anténní přizpůsobovací obvod
AM	Amplitudová modulace
AMTOR	Digitální přenosový systém
Balun	Symetrizační transformátor
CW	Telegrafní provoz
ČSSR	Československá socialistická republika
ČSR	Česko-Slovenská republika
ČTU	Český telekomunikační úřad
DX	Dálkový příjem, distance x
Fv	Vertikální síla
Fh	Horizontální síla
FEI	Fakulta elektrotechniky a informatiky
ITU	Mezinárodní telekomunikační unie
MLA	Magnetická anténa
PACTOR	Digitální přenosový systém
PSV	Poměr stojatých vln
PMR	Občanské radiostanice
RTTY	Rádiodálnopis
RX R4	Typové označení radiostanice
SSB	Modulace s jedním postranním pásmem a potlačenou nosnou
Transceiver	Radiostanice
Transmatch	Antenní tuner
USA	Spojené státy americké
VKV	Velmi krátké vlny
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
4NEC2	Simulační program pro tvorbu antén

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Radioklub při VŠB-TUO	3
1.2	Radioklub sídlící ve čtvrtém patře	4
2.1	Náhradní obvod vysílací antény	8
2.2	Otevřený a skládaný dipól	9
2.3	Rezonanční charakteristika antény	11
2.4	Směrový diagram	13
3.1	Vnitřní a vnější část W3DZZ antény	14
3.2	Ukázka trapu	15
3.3	Balun 1:1 - schéma zapojení	16
3.4	Vajíčkový izolátor	16
3.5	Anténní izolátor	17
3.6	Nevodivé lanko MASTRANT-P 3 mm	17
3.7	Svorky a očnice v praxi	17
3.8	Karabina	18
3.9	Napínák typu oko-oko	18
3.10	Základní anténní uzemňovací systém	19
4.1	Zavěšení dlouhohrátkových antén	20
4.2	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	22
4.3	Anténa G5RV	23
4.4	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	23
4.5	Anténa W3DZZ	24
4.6	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	25
4.7	Vícepásmová anténa WINDOM	26
4.8	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	26
4.9	Dvouprvková Cubical Quad anténa	27
4.10	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	28
4.11	Tříprvková anténa Delta-Loop	29
4.12	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	29
4.13	Vícepásmová čtvercová anténa	30

4.14	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	31
4.15	Základní části antény MLA	31
4.16	Vyzařovací charakteristika v horizontální a vertikální rovině	32
5.1	Mapa areálu s vyznačením prostoru	33
5.2	Varianta A	34
5.3	Varianta B	35
5.4	Varianta C	36
5.5	Varianta D	37
5.6	Odvození maximálního průhybu	39
5.7	Výpočet tahových sil	40
5.8	Návrh anténní soustavy v programu 4NEC2	41
5.9	Vyzařovací charakteristika čtvercové antény při $f = 3,6$ MHz	41
5.10	Vyzařovací charakteristika čtvercové antény při $f = 7,05$ MHz	42
5.11	Vyzařovací charakteristika čtvercové antény při $f = 14,05$ MHz	42
5.12	Vyzařovací charakteristika čtvercové antény při $f = 21,05$ MHz	43
5.13	Závislost poměru PSV na frekvenci u čtvercové antény	43
5.14	Vyzařovací charakteristika W3DZZ antény při $f = 3,5$ MHz	44
5.15	Vyzařovací charakteristika W3DZZ antény při $f = 7,05$ MHz	44
5.16	Vyzařovací charakteristika W3DZZ antény při $f = 14,05$ MHz	45
5.17	Vyzařovací charakteristika W3DZZ antény při $f = 21,05$ MHz	45
5.18	Závislost poměru PSV na frekvenci u W3DZZ	46
6.1	Konstrukce	47
6.2	Středové díly	47
6.3	Sestava trapu W3DZZ	48
6.4	Díl „C“	49
6.5	Díl „A“	49
6.6	Kostra kondenzátorů	50
6.7	Trap	50
6.8	Trapy v plastovém tubusu	51
6.9	Hotové trapy	51
6.10	Konstrukce antény W3DZZ	52

6.11	Proudový balun 1:1	52
6.12	Chráníčka na lano	53
6.13	Kotvení	54
7.1	Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV čtvercové antény	55
7.2	Charakteristika při zkrácení čtvercové antény	56
7.3	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 3,6 MHz	56
7.4	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 7,006 MHz	57
7.5	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 13,971 MHz	57
7.6	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 21,407 MHz	58
7.7	Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV W3DZZ	58
7.8	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 3,646 MHz	59
7.9	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 7 MHz	59
7.10	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 14,006 MHz	60
7.11	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 21,015 MHz	60

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
1.1	Amatérská kmitočtová pásma	5
1.2	Ztráty výkonu	12
4.1	Srovnání jednotlivých variant	37
4.2	Sumarizační tabulka čtvercové antény	46
4.3	Sumarizační tabulka antény W3DZZ	46

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Radioklub OK2QKM	- 3 -
1.1 Historie a současnost radioklubu	- 3 -
1.2 Kmitočtový plán KV pásem používány pro radioamatérský provoz	- 5 -
2 Základní elektrické obvodové parametry antén	- 8 -
2.1 Napájení antén.....	- 9 -
2.2 Rezonance antény	- 10 -
2.3 Zisk antény	- 11 -
2.4 Vstupní impedance a vyzařovací odpor	- 11 -
2.5 Činitel stojatých vln	- 11 -
2.6 Směrový diagram	- 13 -
3 Doplnkové obvody a příslušenství pro stavbu antény	- 14 -
3.1 Paralelní rezonanční LC obvod – TRAP.....	- 14 -
3.2 Symetrizační transformátor.....	- 15 -
3.3 Izolátory	- 16 -
3.4 Kotvící materiál.....	- 17 -
3.5 Samonosný vodič pro výrobu zářiče	- 18 -
3.6 Uzemnění antény.....	- 18 -
4 Typy krátkovlnných antén.....	- 20 -
4.1 Dlouhohrátkové antény	- 20 -
4.1.1 Anténa LW (Long-Wire).....	- 21 -
4.1.2 Anténa G5RV	- 22 -
4.1.3 Anténa W3DZZ.....	- 24 -
4.1.4 Anténa WINDOM	- 25 -
4.2 Smyčkové antény	- 26 -
4.2.1 Dvouprvková anténa – Cubical Quad.....	- 27 -
4.2.2 Anténa Delta – Loop	- 28 -
4.2.3 Vícepásmová čtvercová anténa	- 30 -
4.2.4 Magnetická anténa MLA.....	- 31 -
5 Návrh KV drátové antény	- 33 -
5.1 Výběr vhodné antény	- 33 -

5.2	Možné varianty umístění antény v prostoru	- 34 -
5.2.1	Varianta A	- 34 -
5.2.2	Varianta B.....	- 34 -
5.2.3	Varianta C.....	- 35 -
5.2.4	Varianta D	- 36 -
5.3	Výpočet elektrické délky antény a kotvicích prvků vybrané varianty	- 37 -
5.4	Simulace anténní soustavy v programu 4NEC2.....	- 40 -
6	Konstrukce anténní soustavy.....	- 47 -
7	Ověření správnosti návrhu a konstrukce měřením	- 55 -
	Závěr	- 61 -
	Použitá literatura	- 62 -
	Seznam příloh.....	- 63 -

Úvod

Operátorské pracoviště vysokoškolského radioklubu OK2QKM, sídlící na VŠB-TUO, dlouhodobě postrádá krátkovlnnou drátovou anténu. Toto byla hlavní motivace, proč vznikla diplomová práce nazvaná „Krátkovlnná anténa operátorského pracoviště OK2KQM“.

Radioamatérské vysílání je v mnoha zemích velmi populární. V České republice jsou vydány cca 4 tisíce koncesí¹. Ve světě je tento koníček ve větší míře oblíbenější. Například v Japonsku je cca 1,3 miliónů a v USA 600 tisíc radioamatérů. Populární jsou spojení na dlouhé vzdálenosti, tzv. DXing². Radioamatéři při dlouhých spojení využívají odrazy od ionosférické vrstvy v pásmech 160 m (1,8 MHz), 80 m (3,5 MHz), 40 m (7 MHz), 30 m (10 MHz), 20 m (14 MHz), 17 m (18 MHz), 15 m (21 MHz), 12 m (24 MHz) a 10 m (28 MHz).

Potřeba mezi sebou komunikovat pocítuje lidstvo od počátku. Prvně mezi sebou lidé komunikovali pouze pomocí zvuků a postupně se komunikace vyvíjela (slovo, písmo, kouřové signály). Největší rozmach nastal během posledních dvou století s objevem elektromagnetických vln, které se šíří volně prostorem. Nastal počátek bezdrátové komunikace a s tím spojené konstrukce antén.

Anténa je nejdůležitější částí v radiokomunikačním řetězci. Může být jednopásmová nebo vícepásmová, všesměrová či směrová. Anténa je zařízení, které přeměňuje elektromagnetické vlnění, šířící se podél vedení, na vlnění ve volném prostoru a naopak. Parametry antény, jako je zisk, impedance, poměr stojatých vln, směrová charakteristika, polarizace antény a podobně jsou důležité a ovlivňují především výsledné vlastnosti rádiového spojení. Pro správnou funkčnost potřebujeme k anténě také další prvky. Jsou to napáječe, uzemňovací obvody, přizpůsobovací členy, konstrukční elementy, stožáry a tak dále. V praxi jsou antény vyrobeny různě, mají odlišné tvary a rozměry. Mezi nejjednodušší anténu patří klasický dlouhý drát, který se používal u prvních přijímačů složený pouze z rezonančního obvodu, krystalky a sluchátek.

Práce se zabývá návrhem a konstrukcí krátkovlnné drátové antény. V první části diplomové práce je popsána historie radioklubu OK2KQM a jeho činnost. Je zde popsán kmitočtový plán KV pásem používaný pro radioamatérský provoz.

Ve druhé kapitole jsou popsány základní elektrické obvodové parametry antén.

Ve třetí kapitole jsou uvedeny doplňkové obvody a příslušenství pro stavbu antény, jako jsou izolátory, anténní a nylonová lanka, napínačky, svorky, trapy apod.

Čtvrtá kapitola popisuje možné varianty krátkovlnných antén a jejich praktické řešení.

Pátá kapitola je věnována volbě vhodné antény. Jsou zde zobrazeny možné varianty umístění drátové antény mezi budovami NK, E a novou budovou FEI v kampusu VŠB-TUO. Je zde také popsán teoretický návrh, popis, z čeho je anténa vyrobena a simulace v anténním simulačním programu 4NEC2.

¹ Radioamatérská licence, která opravňuje držitele k vysílání v radioamatérských pásmech v oblasti krátkých a velmi krátkých vln. Tuto licenci v ČR uděluje český telekomunikační úřad.

² DXing je zavedené anglické pojmenování pro dálkový příjem, distance x – vzdálenost neznámá.

Další, v pořadí šestá kapitola, popisuje postup při praktické realizaci antény a vychází z teoretických poznatků a simulací. Natahování, kotvení a následné doladování vícepásmové antény je fotograficky zdokumentováno.

Poslední kapitola dokládá ověření správnosti realizace krátkovlnné antény měřením parametrů pro přizpůsobení antény jako je činitel stojatých vln (PSV) a vstupní impedance navržené antény.

1 Radioklub OK2QKM

1.1 Historie a současnost radioklubu

Radioklub se nachází na VŠB-TUO (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava) na adrese 17. listopadu 15, Ostrava-Poruba 708 33. Sídlí v budově NK ve čtvrtém patře, dveře NK431b (viz obrázek 1.1).



Obrázek 1.1: Radioklub při VŠB-TUO

Založení školního radioklubu se datuje do roku 1973, kdy na VŠB-TUO nastoupil Oldřich Burger a spolu se Zdenkem Rýcem založili radioklub a získali pro něj značku OK2KQM. V roce 1976 se u vojenského útvaru na Hranečnicku rušil klub OK2KYI a s tímto přichází na VŠB-TUO i další významná osobnost v dějinách klubu Josef Novák na vojenskou katedru VŠB-TUO a přestupuje do radioklubu Svazarmu na VŠB-TUO.

Nejen pochopení významu branné činnosti, ale i chuť členů svazarmovců vedlo k založení základních organizací Svazarmu na VŠB-TUO, a tudíž i ke vzniku radioklubu OK2KQM. V době vzniku radioklubu byla VŠB-TUO ještě ve výstavbě.

Radioklub se zúčastnil mnoha závodů. Kromě závodů odjetých v radioklubu vyjel v roce 1974 na Polní den, kde vysílali z vojenského přijímače RX R4.

V roce 1975 se klub aktivně podílel na přípravě mistrovství ČSR (Česko-Slovenská republika) v telegrafii. Dokonce hostili i reprezentanty mistrovství Evropy v telegrafii. A znovu se zúčastnili Polního dne.

Členové radioklubu dosahovali mnoha úspěchů. Velice nadanou členkou byla i Ludmila Trudičová, mistryně ČSSR (Československá socialistická republika) v honu na lišku z roku 1975. Jako jediná z reprezentačního družstva ČSSR vybojovala v Hradci Králové na mezinárodní komplexní soutěži sportovních radistů pro ČSSR zlatou medaili. Kromě zlata také stříbro i bronz, čímž pomohla vydatně družstvu k cennému celkovému druhému místu. Její debut je o to lepší, že Ludmila byla ve své disciplíně nováčkem. Sportovní kariéru zahájila teprve v roce 1973. Za krátkou dobu poté, co poprvé držela v ruce zaměřovací přijímač, se prosadila mezi národní a posléze celostátní špičku. Porážela své mnohem zkušenější kolegyně a získala titul mistryně ČSSR. V závěru roku 1974 byla spolu se svými klubovými kamarádkami z VŠB-TUO Marcelou Neuwirthovou, Lenkou Prokešovou a Pavlou Hejtmánovou, oceněna diplomem „Člen nejúspěšnějšího kolektivu sportovních radistek Svazarmu“.

K jejím úspěchům značně přispěli členové a trenéři Oldřich Burger OK2ER, Ing. Boris Magnusek, který se sám stal v roce 1970 mistrem ČSSR v honu na lišku a další.

Radioklub OK2KQM pořádá i kroužek pro děti, o který se v těchto letech projevil velký zájem. S postupem času přicházelo málo nových členů a ježdění na závody typu Polní den a Hon na lišku se velmi omezil. Klub se více zúčastňoval jen VHF – UHF – SHF závodů apod., které jeli členové přímo z klubu. V roce 1998 se radioklub OK2KQM umístil na Polním dnu na 105 místě. V roce 2002 se umístil na 34 místě. V roce 1998 se radioklub v SSB lize umístil na pěkném 7 místě z celkových 64 stanic. V 2.subregionálu VHF-UHF-SHF CONTEST 1999 se klub umístil na 67 místě. Dále na 22 místě v IARU 1. REGION UHF – SHF CONTEST 2000. V honu na lišku se v r. 2006 Pavel Janečka dostal na 20 místo v kategorii muži na pásmu 3,5 MHz [1].

V současné době je snaha obnovit aktivitu klubu a přijetí nových členů. Klub je vybavován novými stanicemi a zařízeními. Radioklub se každoročně prezentuje v rámci dnů otevřených dveří a také pořádá elektrotechnické kroužky pro děti základních škol. V evidenci je celkem 20 členů.



Obrázek 1.2: Radioklub sídlící ve čtvrtém patře

1.2 Kmitočtový plán KV pásem používány pro radioamatérský provoz

Kmitočtové spektrum je rozděleno na jednotlivé úseky, aby nedocházelo ke vzájemnému rušení mezi uživateli rádiových služeb. Přidělení kmitočtů pro radioamatérskou potřebu je mezinárodně koordinováno Mezinárodní telekomunikační unií ITU (International Telecommunication Union). Na národní úrovni existuje ČTÚ (Český telekomunikační úřad), který rozděluje frekvenční spektrum a přiděluje určité radiokomunikační služby na základě mezinárodního koordinačního plánu ITU. ČTÚ vydává vyhlášku pod zkratkou VO-R (Všeobecné oprávnění k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu), která upravuje kmitočtové spektrum. Vyhláška obsahuje informace o kmitočtových segmentech, jejich použití, druhu provozu, maximální povolené vysílací výkony a další informace.

Rozdělení radiokomunikačních služeb vychází z radiokomunikačního řádu mezinárodní telekomunikační unie a definice jednotlivých služeb jsou uvedeny v plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka), na něž navazuje plán využití kmitočtového spektra, který upřesňuje podmínky využití kmitočtového spektra. Vysílací rádiové zařízení amatérské služby je určeno ke sportovní činnosti, technickému sebevzdělávání a studiu. Žadatel o vydání individuálního oprávnění k využívání kmitočtů amatérské služby musí být držitelem průkazu odborné způsobilosti pro obsluhu amatérských vysílacích rádiových stanic odpovídající třídy, jehož vydání je podmíněno úspěšným vykonáním zkoušky odborné způsobilosti k obsluze podle § 26 zákona. Pro využívání kmitočtů jsou stanovena přesná pravidla. Je to v zájmu všech uživatelů kmitočtového spektra, neboť každé nedodržení, resp. porušení těchto pravidel má často za následek znemožnění nerušeného provozu služby ostatním uživatelům. Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích) (dále jen „zákon“) proto stanoví podmínky, za nichž mohou být rádiové kmitočty využívány a rádiová zařízení provozována [2].

Kmitočtové rozdělení v rozsahu krátkých vln je v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: Amatérská kmitočtová pásma

Kmitočtové pásmo [MHz]		
Od [MHz]	Do [MHz]	Pásmo
1,81	2	1,8 MHz - 160 m
3,5	3,8	3,5 MHz - 80 m
7	7,2	7 MHz - 40 m
10,1	10,15	10 MHz - 30 m
14	14,35	14 MHz - 20 m
18,068	18,168	18 MHz - 17 m
21	21,450	21 MHz - 15 m
24,890	24,990	24 MHz - 12 m
28	29,7	28 MHz - 10 m

Vlnová délka, kmitočet a rychlost světla jsou základními fyzikálními veličinami pro návrh a konstrukci antén. Za jednu sekundu urazí elektromagnetická vlna 300000 km a kmitá přitom svojí frekvencí. Z toho se vypočte vlnová délka podle následujícího vzorce. Většina rozměrů antén se vyjadřuje jako násobek délky vlny, tj. $\lambda/2$ znamená délku rovnou polovině délky vlny. Při započítání koeficientu zkrácení dostaneme z elektrické délky antény délku mechanickou.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

λ – délka vlny [m]

c – rychlost světla [$300 \cdot 10^6$ m/s]

f – kmitočet [Hz]

Radioamatéři na celém světě mezi sebou vzájemně navazují spojení jednak na KV pásmech 160, 80, 40, 30, 20, 17, 15, 12 a 10 m (viz tabulka 1.1) a jednak také na pásmu velmi krátkých vln. Na začátcích pracovali radioamatéři jen telegrafním provozem (CW). Ten má stále své využití a hlavním znakem tohoto provozu je, že při něm není třeba znát cizí jazyk. Při vysílání se používá tzv. Q kódy a zkratky, které jsou stejné a známé po celém světě. Q kódy jsou třípísmenné skupiny začínající písmenem Q, z nichž každá znamená větu oznamovací nebo pokud je doplněna otazníkem, tak větu tázací. Pro příklad, zkratka QTH znamená, jaké je stanoviště vaší stanice, AER – anténa, TX – vysílač, TKS – děkuji. Tyto zkratky jsou ve většině případů převzaté z angličtiny. Při fonickém provozu se až do 60. let užívalo převážně amplitudové modulace (AM). Dnes se na KV pásmu používá výhradně SSB provoz (modulace s jedním postranním pásmem a potlačenou nosnou). Zásady pro fonická spojení jsou stejné jako pro spojení telegrafní. V pásmu 80 m se hojně setkáme s němčinou, pro DX provoz je však nutné znát přinejmenším základy angličtiny. Nejsnáze se fonická spojení navazují v závodech, a to i těm, kdo cizí jazyk dobře neovládá. Stačí dobrá znalost mezinárodní hláskovací tabulky písmen a anglických číslovek.

V posledním desetiletí došlo k obrovskému rozmachu digitální komunikace. Lze se setkat s radiodálnopisným provozem (RTTY – RadioTeleType), přenos obrázků, AMTOR/FACTOR.

Pásmo 160 m je přes den použitelné jen pro místní spojení na krátké vzdálenosti, ve večerních hodinách lze dosáhnout spojení po celé Evropě a výjimečně s jiným kontinentem. Praktický lze dosáhnout spojení s celým světem s dostatečným výkonem a vhodnými anténami. Toto pásmo je vhodné pro vnitrostátní spojení, jelikož zde prakticky neexistuje rušení jinými službami. Bohužel v ČR ustupuje z pozornosti.

Pásmo 80 m je přes den použitelné pro spojení cca do 300 km, v nočních hodinách se dosahuje vzdáleností přes 1000 km, kdy se projevuje pásmo ticha neboli také pásmo přeslechů. Pro dálková spojení (stejně jako v pásmu 160 m) je lepší zimní období pro nižší úroveň atmosférického rušení, nebo první jarní měsíce.

Pásmo 40 m je prakticky celý den obsazeno stanicemi. Přes den je možné uskutečnit spojení cca do 1000 km s velkým pásmem ticha. Pro DX spojení je vhodná druhá polovina noci cca a zimní měsíce.

Pásmo 30 m je vhodné pro dálková spojení především v období minimální sluneční činnosti, kdy přebírá funkci a vlastnosti pásma 20 m. Fyzické rozměry směrové antény pro toto pásmo přesahují pro většinu radioamatérů únosnou míru, a tak zde zpravidla používají antény dlouhohrátové.

Pásmo 20 m je hlavním DX pásmem, kde lze prakticky najít každou expedici, která vysílá ze vzácné lokality. V zimních nocích dochází k takovým vlastnostem ionosféry, že se toto pásmo v průběhu noci úplně uzavírá a je proto vhodné přejít na pásmo 30 m. V letním období je naopak pásmo otevřené do různých směrů po celých 24 hodin. Je to ideální pásmo pro navazování spojení přes severní pól. Pásmo ticha je až do vzdálenosti cca 1000 km. Poměrně se rychle mění a výskyt mimořádné vrstvy E často toto pásmo úplně nebo částečně eliminuje.

Pásmo 18 m se začíná využívat teprve v posledních letech a jeho význam bude narůstat vždy při snižující se sluneční aktivitě, když pásma 15 m a vyšší budou zcela uzavřena.

Pásmo 15 m je značně závislé na intenzitě sluneční činnosti, kdy v nočních hodinách se pásmo uzavírá (s výjimkou letních dnů).

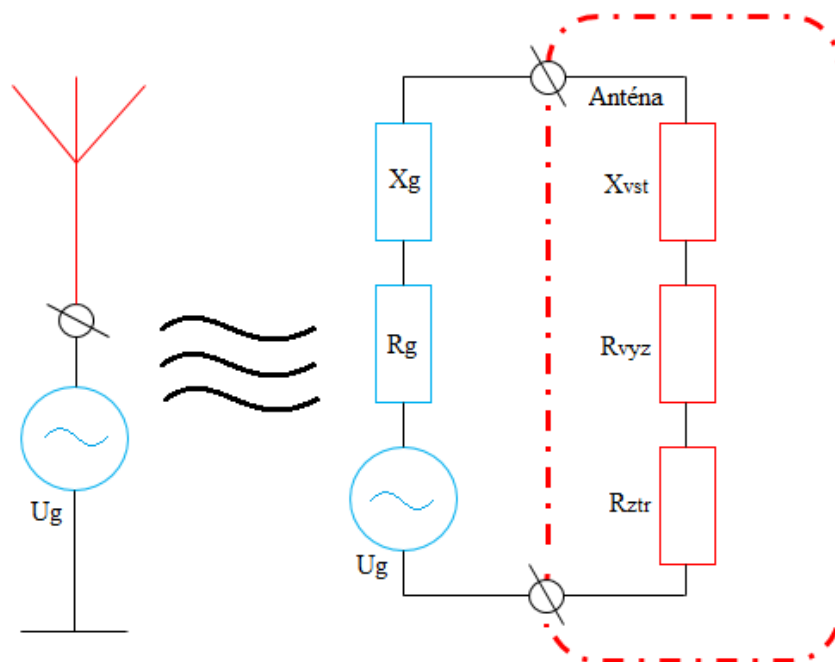
Pásma 12 a 10 m jsou pásma denní, přes noc jsou absolutně uzavřena. V letech s nízkou sluneční činností se pásma otevírají pouze v létě přes den a je možné navazovat i dálková spojení s minimálním výkonem (útlum je zde ze všech pásem nejvyšší).

2 Základní elektrické obvodové parametry antén

Střídavý proud procházející vodičem vytváří elektromagnetické vlny. Tento vodič tvoří anténu a je upraven tak, aby vyzařoval a přijímal maximální množství elektrické energie (princip reciprocity).

Každý rezonanční obvod tvořený cívkou a kondenzátorem může vytvářet elektromagnetické pole. Uvnitř tohoto obvodu vzniká elektrické pole, soustředěné mezi deskami kondenzátoru a pole magnetické okolo cívky. Pro rozšíření elektrického pole kondenzátoru je nutné zvětšit vzdálenost mezi jeho deskami. Kondenzátor může mít podobu dvou vodičů, z nichž jeden je v dostatečné výšce nad povrchem a druhý je umístěn na povrchu nebo je s ním spojený.

Takto uspořádaný kondenzátor tvoří otevřený rezonanční obvod. Vodiče otevřeného obvodu mají svoji kapacitu i také vlastní indukčnost, jejíž velikost je závislá na délce a průměru vodiče. Otevřený rezonanční obvod lze považovat za anténu. Je dokázáno, že se obvod mění na otevřený (stává se účinnou anténou), když je jeho rozměr (délka) srovnatelný s vlnovou délkou, na kterou je obvod vyladěn. Ve tvaru zářiče se účinnost antény zvyšuje, jestliže se jeho délka přibližuje $1/2$ vlnové délky, odpovídající rezonančnímu kmitočtu tohoto otevřeného rezonančního obvodu [3].



Obrázek 2.1: Náhradní obvod vysílací antény

Vstupní impedance antény je definována jako poměr fázorů vstupního proudu a napětí.

$$Z_{vst} = \frac{U_{vst}}{I_{vst}} = R_{vst} + jX_{vst} [\Omega] \quad (2.1)$$

Kde: R_{VST} je vstupní činný odpor, X_{VST} je vstupní reaktance.

$$R_{VST} = R_{vyz} + R_{ztr} \quad (2.2)$$

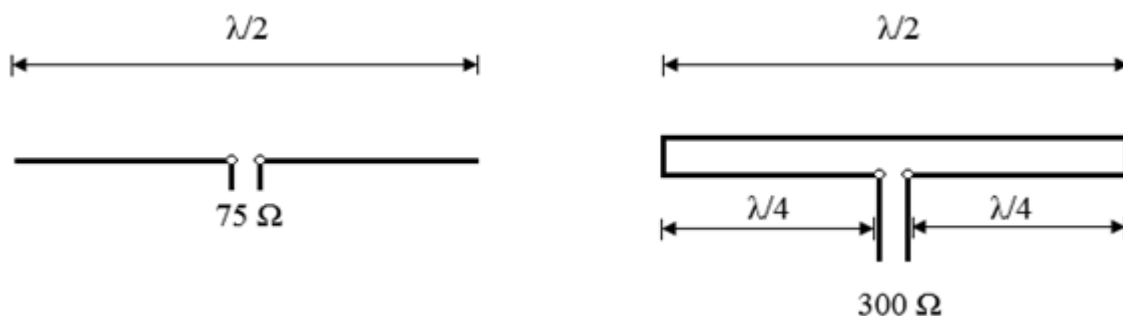
Kde: R_{ztr} je ztrátový odpor, R_{vyz} je vyzařovací odpor antény.

Vstupní impedance má velký význam pro impedance přizpůsobení k napájecí a pro návrh přizpůsobovacích obvodů.

Nejjednodušším typem rezonanční antény, také nazývána anténa se stojatou vlnou, je dipólový zářič půlvlnné délky a tvoří základ pro převážnou většinu antén.

Tento zářič se chová v podstatě jako rezonanční obvod, jehož rezonanční kmitočet se nastavuje délkou zářiče. Hlavním znakem dipólu je jeho délka rovna polovině vlnové délky a jeho zisk činí 0 dB (2,15 dBi). Napájení půlvlnného dipólu je symetrické, a proto nelze k němu připojit koaxiální kabel napřímo. Je proto potřeba mezi napáječ a anténu použít symetrizační člen (balun). Tloušťka drátu dipólu udává šířku pásma, a čím je průměr větší, tím je větší šířka pásma, kterou anténa přijímá nebo vysílá. Nejvíce se používají dva typy, skládaný dipól a otevřený dipól. Rozdíl je v tom, že skládaný dipól má impedance 300 Ω ve volném prostoru, zatímco u otevřeného dipólu je impedance 75 Ω . Zisk obou zářičů je shodný s tím rozdílem, že skládaný dipól lze využít na větším kmitočtovém rozsahu, tudíž je širokopásmovější.

Na obrázku 2.2 lze vidět vlevo symetrický dipól a vpravo skládaný dipól.



Obrázek 2.2: Otevřený a skládaný dipól

Délku dipólu lze vypočítat podle vzorce:

$$L = \frac{c \cdot k}{2 \cdot f} \quad (2.3)$$

Kde jsou:

L – délka antény [m]

f – rezonanční kmitočet [Hz]

k – činitel zkrácení (závisí na poměru λ/d , kde d je průměr vodiče)

2.1 Napájení antén

Kabel vedený z radiostanice směrem k anténě se nazývá vf napáječ. Ovlivňuje především kvalitu vysílání i příjmu. Proto byly vymyšleny jednotlivé způsoby, aby docházelo k zamezení vyzařovaného signálu z napájecího vedení. Tyto způsoby napájení antén lze rozdělit na symetrické a nesymetrické. K nesymetrickému napájení se převážně používá koaxiální kabel a u symetrického napájení je používán žebříček nebo dvoulinka. U symetrického napáječe a koaxiálního kabelu jsou napětí i proudy fázově posunuty o 180°, tudíž se vyzařování signálu vyruší. Způsob napájení lze také dělit na provoz s postupnou vlnou a se stojatou vlnou. U postupné vlny je vedení tzv. hladké, kde proud i napětí jsou ve

všech místech vedení stejné a impedance (charakteristická impedance vedení) je také stejná po celé délce vedení. Poměr stojatých vln (PSV) je 1:1 a znamená to, že žádná stojatá vlna se na vedení nevyskytuje. Toto nastane tehdy, když se impedance zátěže shoduje s charakteristickou impedancí vedení. V druhém případě je napájení stojatou vlnou a vedení nazýváno tzv. rozvlněné. Proud i napětí nejsou ve všech místech vedení stejné, a to platí i u impedance.

Žebříček neboli symetrický napáječ se hodí pro oba způsoby napájení, postupnou i stojatou vlnou. Koaxiální kabel je vymyšlen pro napájení s postupnou vlnou a při použití tuneru je možné ho použít pro stojaté vlny.

2.2 Rezonance antény

Pro účinné vysílání musí být anténa vyladěna na svou rezonanční délku pro daný kmitočet. Pokud je rozměr antény vyjádřen jako $1/2 \lambda$, pak se jedná o polovinu vlnové délky přijímaného signálu. Rezonanční kmitočet také závisí i na výšce antény nad zemským povrchem. (Prosazuje se zde kapacita mezi deskami „otevřeného“ kondenzátoru).

Vzájemnou závislost mezi kapacitou, indukčností a kmitočtem v rezonančním obvodu vyjadřuje rovnice [3]:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (2.4)$$

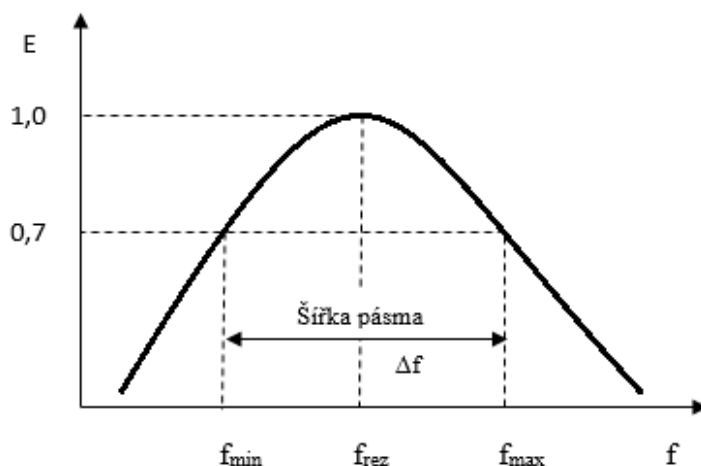
Kde jsou:

f – kmitočet [Hz]

L – indukčnost [H]

C – kapacita [F]

Anténa účinně pracuje pouze v určitém kmitočtovém pásmu, ohraničeném kmitočty f_1 a f_2 . Na obrázku 2.3 lze vidět křivku, určující závislost napětí na kmitočtu. Na této křivce jsou označeny body f_1 , f_2 a intenzita elektromagnetického pole klesá o 3 dB (tato hodnota odpovídá polovičnímu výkonu, respektive 70 % maximálního napětí v rezonanci). Pomocí kmitočtů f_1 a f_2 je omezena šířka kmitočtového pásma antény. Šířku pásma u všesměrových a směrových antén ovlivňují hlavně fyzické rozměry (délka, průměr, výška, tloušťka) jednotlivých prvků. Čím větší je průměr vodiče antény, tím bude mít anténa větší šířku kmitočtového pásma [3].



Obrázek 2.3: Rezonanční charakteristika antény

2.3 Zisk antény

Účinnost antény je její zisk, značí se písmenem G . Zisk antény v dB je dán logaritmem poměru napětí (U_1/U_0) nebo výkonu (P_1/P_0) na přijímači, připojené jednak k měřené anténě a poté k anténě referenční, umístěné v tomtéž místě [3].

$$G[\text{dB}] = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_0} = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_0} \quad (2.5)$$

Zisk v podstatě určuje, jak moc je třeba zvýšit výkon referenční antény vzhledem ke zkoumané anténě. Jako referenční anténa se obvykle volí buď tzv. izotropická anténa se ziskem $G = 0$ dBi nebo půlvlnný dipól se ziskem $G = 2,14$ dBi. Rozdíl obou referenčních antén je tedy 2,14 dB [3].

2.4 Vstupní impedance a vyzařovací odpor

Jako každý spotřebič, anténa spojená s vysílací stanicí zatěžuje svým odporem-impedancí. Impedance antény má dvě složky (odporovou a reaktanční). Impedance je závislá na kmitočtu i na umístění antény od země. Největší změny impedance se projevují v rozmezí $0 - \lambda/2$ nad zemí. Konstantní vyzařovací odpor R je dosažen, když anténa je umístěna ve výšce $\lambda/2$ nad zemí.

Vstupní impedance je velmi důležitý parametr. Slouží pro přizpůsobení antény k napájecí, vysílači a v radioamatérské praxi se převážně používá výstupní impedance 50Ω . Má-li vysílač a anténa shodnou impedanci, jsou rádiové vlny ideálně vyzařeny danou anténou ($PSV = 1$). Jestliže je $PSV = 1$, délka napáječe a koaxiálního kabelu (o impedanci 50Ω) může být libovolná, protože nemá vliv na parametry přizpůsobené antény. Z tohoto důvodu nelze délkou napáječe měnit parametry antény, jak se často mnoho lidí domnívá. Pokud je anténa nepřizpůsobená k vysílači, používají se v praxi různé přizpůsobovací členy nebo symetrizační obvody [3].

2.5 Činitel stojatých vln

Činitel stojatých vln (ČSV) neboli také často uváděný jako PSV, anglicky SWR. Jde o to, že výstup vysílače, vedení a anténa musí být k sobě impedančně přizpůsobeny. Pokud je jejich

impedance shodná, je parametr PSV rovno jedné ($PSV = 1$). Jestliže jsou impedance vedení a antény odlišné, PSV je rovno poměru obou impedancí (větší hodnota impedance je vždy v čitateli, menší hodnota impedance ve jmenovateli a parametr PSV je vždy větší nebo rovno jedné) a dochází ke vzniku stojatého vlnění. Anténa pak nevyzáří veškerý přivedený výkon a část výkonu se vrací zpět k vysílači a mění se na teplo, které může způsobit poškození či dokonce zničení koncového stupně vysílače. Pomocí měřičů PSV lze zjistit, zda je optimálně přizpůsobena anténa k vysílači. Tyto měřiče se zapojují mezi vysílač a napájecí vedení. V tabulce 1.2 jsou uvedeny ztráty výkonu, ke kterým dochází nepřizpůsobením antény. V praxi se ve většině případů zapojují měřiče PSV natrvalo pro případnou kontrolu impedančního přizpůsobení. Měření hodnoty PSV se provádí za sníženého provozu v pásmu [3].

PSV lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$PSV = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{U_{přímá} + U_{odraz}}{U_{přímá} - U_{odraz}} \quad (2.6)$$

$$\Gamma = \frac{U_{odraz}}{U_{přímá}} = \frac{I_{odraz}}{I_{přímá}} = \left| \frac{Z_{in} - Z_N}{Z_{in} + Z_N} \right| \quad (2.7)$$

Kde jsou:

Γ – činitel odrazu

Z_{in} – impedance antény

Z_N – impedance napáječe

U_{odraz} (I_{odraz}) – amplituda napětí (proudu) odražené vlny

$U_{přímá}$ ($I_{přímá}$) – amplituda napětí (proudu) přímé vlny

Tabulka 1.2: Ztráty výkonu

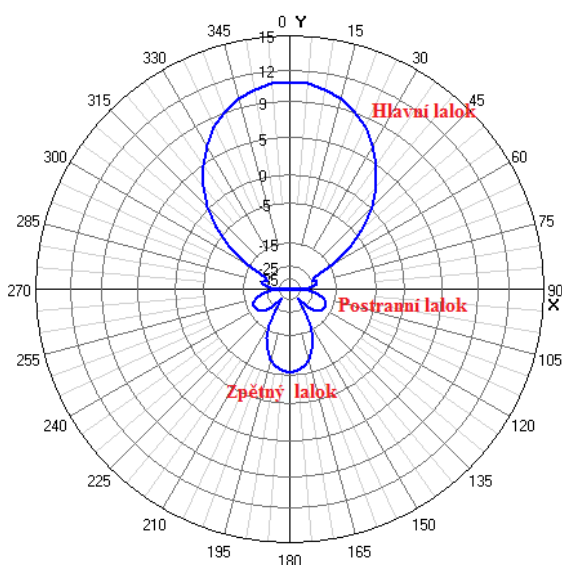
PSV	Přenesený výkon (%)	Odražený výkon (%)
1	100	0
1,2	99,2	0,8
1,5	96	4
2	89	11
3	75	25
4	64	36
6	48	52
10	33	67
∞	0	100

2.6 Směrový diagram

Směrový diagram (směrová charakteristika) určuje, jak daná anténa vyzařuje v prostoru, respektive udává směrové vlastnosti antény. Anténa orientovaná hlavním lalokem směrem k přijímači vysílá největším výkonem a stejně tak dobře v tomto směru i přijímá. U přijímací antény se používá pojem směrová charakteristika, u vysílací antény vyzařovací charakteristika.

Vyzařovací (směrová) charakteristika antény se v technické praxi znázorňuje jako řez v určité rovině, převážně se používá řez ve vertikální a horizontální rovině. Směrový diagram lze rozdělit na několik laloků:

- Hlavní lalok – v této oblasti anténa nejlépe vysílá a přijímá energii
- Postranní lalok – vedlejší laloky
- Zpětný lalok – je to lalok v protisměru hlavního laloku



Obrázek 2.4: *Směrový diagram*

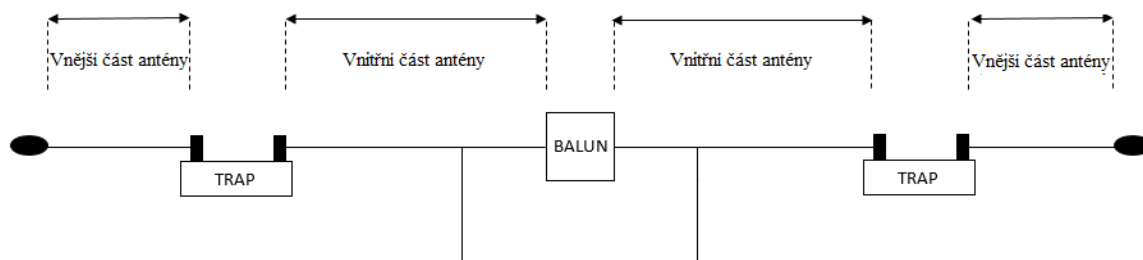
3 Doplňkové obvody a příslušenství pro stavbu antény

V následující kapitole jsou uvedeny doplňkové obvody a příslušenství pro stavbu antény. Je zde popsán symetrizační transformátor a vysvětlen pojem trap s teoretickým návrhem na jeho výrobu.

Dále kapitola pojednává o izolátorech, které budou použity při stavbě antény. Jsou zde uvedeny také prvky jako karabiny, napínačky, svorky a očnice. Pro zavěšení antény bude použito nevodivé lanko a pro samotnou výrobu antény bude použit pozinkovaný vázací drát s PVC izolací.

3.1 Paralelní rezonanční LC obvod – TRAP

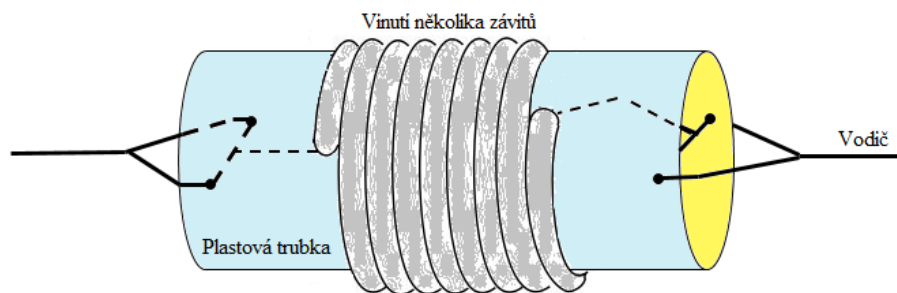
Trap je v podstatě paralelní rezonanční obvod, který se skládá z cívky a kondenzátoru. Tyto obvody působí jako vysoký odpor na daném rezonančním kmitočtu. Je-li frekvence nízká, působí trap jako sériová induktivní reaktance. Pokud je frekvence vysoká, pak se trap chová jako kapacitní reaktance. Jsou-li například u antény W3DZZ (viz kap 4.1.3) oba trapy naladěny na kmitočet 7050 kHz, pak i vnitřní část dipólu je naladěna na tuto frekvenci, zatímco vnější části dipólu jsou těmito trapy odděleny a na vyzařování antény se nepodílejí [3].



Obrázek 3.1: *Vnitřní a vnější část W3DZZ antény*

Na vyšších kmitočtových pásmech (20, 15, 10 m) způsobí sériová reaktance kondenzátorů zkrácení elektrické délky dipólu, a proto postupně nabývá elektrických délek $3/2 \lambda$, $5/2 \lambda$, $7/2 \lambda$ s relativně nízkou vstupní impedancí. Anténu lze použít na pěti radioamatérských pásmech. Obtížné je ale nastavit příslušné rezonance na střed všech pásem. Prvky rezonančních obvodů (L a C) jsou poměrně dost ovlivňovány počasím v provozu, takže se jejich elektrické vlastnosti mohou měnit [3].

Trap lze vyrobit navinutím několika závitů měděným drátem na keramickou nebo plastovou trubku o daném průměru a délky. Kondenzátor by měl být uvnitř trubky spolu s vinutím cívky. Po celkovém doladění by se měl celý trap zabezpečit prostředkem pro ochranu proti nepříznivým podmínkám.



Obrázek 3.2: Ukázka trapu

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (3.1)$$

$$C = \frac{1}{2 \pi f X_C} \quad (3.2)$$

$$L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad (2.3)$$

Kde jsou:

C – kapacita [F]

L – indukčnost [H]

f – frekvence [Hz]

X_C – kapacitní reaktance [Ω]

X_L – induktivní reaktance [Ω]

μ – permeabilita prostředí [$H \cdot m^{-1}$]

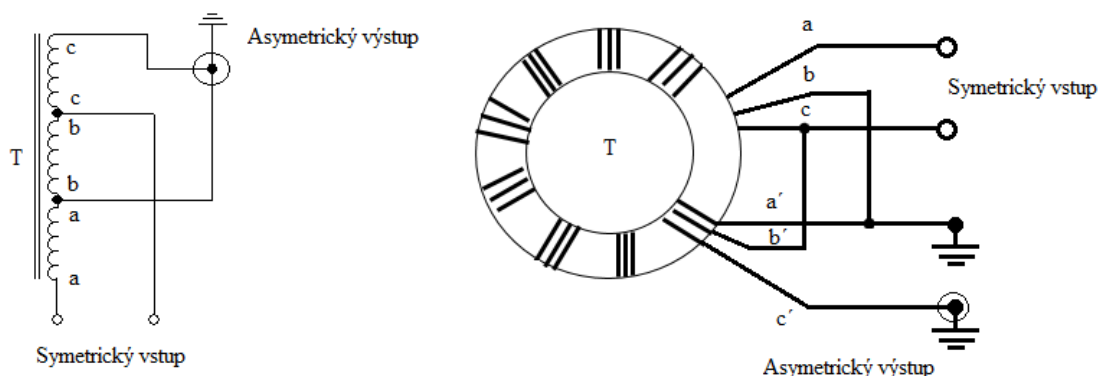
N – počet závitů [-]

S – obsah průřezů cívky [m^2]

l – délka cívky [m]

3.2 Symetrizační transformátor

Při návrhu symetrizačního transformátoru se lze v technické literatuře poměrně často setkat s pojmem Balun. Toto označení vychází z anglických slov Balanced a Unbalanced. V překladu to znamená symetrický a nesymetrický. Jde tedy o převodník symetrického signálu na nesymetrický. Funguje také jako článek k přizpůsobení impedance vstupu/výstupu a přenosového média. Hlavním parametrem balunů je jejich impedanční poměr, který udává množství změn hodnot impedance ze vstupu transformátoru na jeho výstup. Existují baluny různých poměrů, třeba balun s poměrem 1:1, 1:4, 1:6, 1:9. Při poměru 1:1 to znamená, že impedance měřená na vstupu transformátoru je rovna impedanci na výstupu. Balun s poměrem 4:1 se například používá pro připojení antény s impedancí 300 Ω ke koaxiálnímu kabelu s impedancí 75 Ω .



Obrázek 3.3: *Balun 1:1 - schéma zapojení*

3.3 Izolátory

Izolátor je velice důležitou součástí. Anténní izolátor z keramiky je nejvhodnější, nejen pro výborné vlastnosti, ale i kvůli bezpečnosti. Při správné montáži je střed izolátoru namáhán na tlak a při mechanickém poškození zůstanou smyčky zaklesnuté do sebe. Mnoho plastických hmot také při dlouhodobém vystavení povětrnosti navlhá a degraduje UV zářením. Pro příklad jsou uvedeny dva typy izolátorů.

- Vajíčkový izolátor

Pro potřeby správného chycení a izolaci antény lze použít robustní glazovaný keramický izolátor. Délka je 54 mm. Průměr otvorů je 11 mm. Je vhodný pro větší vf výkony, neroztaví se, jako se to stává u plastových typů. Pevnost v tahu 250 kg. [5].



Obrázek 3.4: *Vajíčkový izolátor*

- Anténní izolátor

Druhý typ je opět glazovaný anténní izolátor ale tvarově odlišný [5]. Pevnost v tahu je 250 kg.



Obrázek 3.5: *Antennní izolátor*

3.4 Kotvicí materiál

Pro zavěšení antény bude použité nevodivé lanko MASTRANT-P s délkou 131 m a průměrem 3 mm, které je dostatečně pevné a bylo zakoupeno v e-shopu. Pevnost lanka je 2000 N. Pracovní zatížení 600 N (60 kg). Tažnost je 2,4 % a hmotnost lanka je 0,7 kg / 100 m.



Obrázek 3.6: *Nevodivé lanko MASTRANT-P 3 mm*

Pro kotvení antény se používají tyto prvky. Důležitá je lanová svorka (tzv. blajchrtka). Jejich praktické použití je na obrázku 3.7. Svorky by měly být především na jedno oko dvě a zakončení lanka musí být zajištěné proti rozmotávání. Očnice zajišťuje v místě ohybu dostatečnou pevnost a životnost lanka.



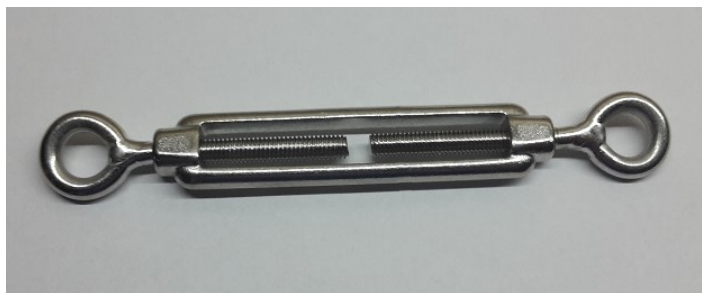
Obrázek 3.7: *Svorky a očnice v praxi*

Očnicí většinou prochází karabina, která spojuje lanko s úchytem třeba na střeše. Karabina je vyrobena z kvalitní nerezové oceli, pro zatížení cca 80 kg (viz obr. 3.8). Existují karabiny i se zámkem a zabráňují tak nechtěnému otevření.



Obrázek 3.8: *Karabina*

Dalším používaným prvkem je napínák ve tvaru oko-hák nebo oko-oko. Otáčením těla napínáku dojde k napínání nebo povolování lanka. Preferuje se typ oko-oko, jelikož při silném nárazovém větru může dojít k vyháknutí napínáku z pevného bodu.



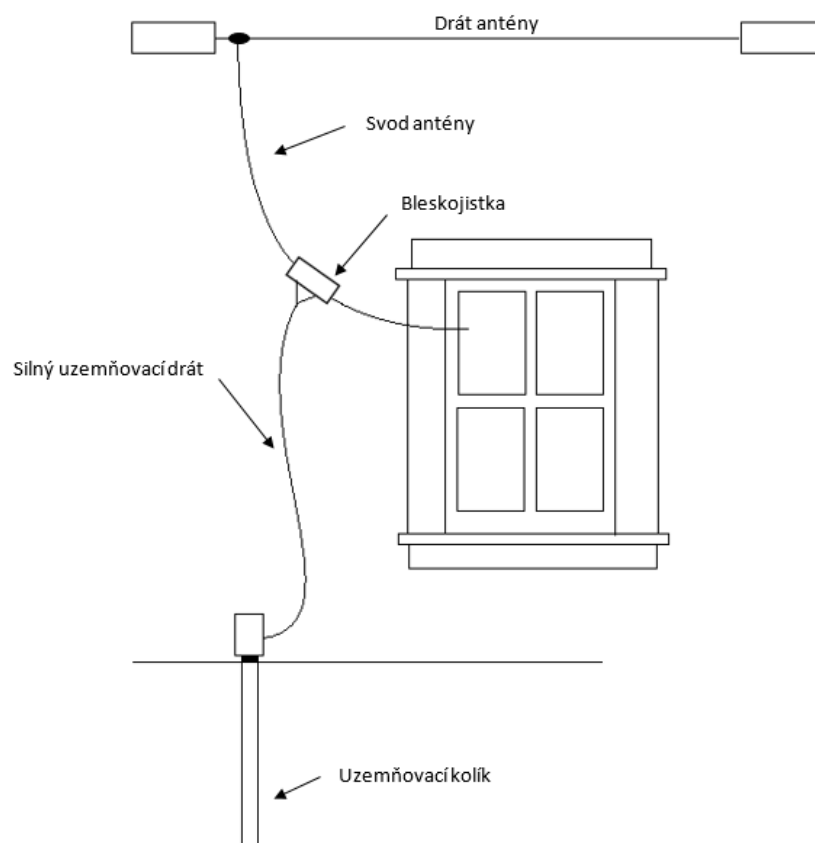
Obrázek 3.9: *Napínák typu oko-oko*

3.5 Samonosný vodič pro výrobu zářiče

K výrobě antény postačí vodič s průměrem 1,5 mm. Pro kvalitnější výrobu lze v různých obchodech zakoupit kvalitní dráty různých průměrů. Pro stavbu dlouhohrátkové antény je použit vázací drát, který byl zakoupen z moravskoslezských drátoven Vítkovice. Drát je pozinkovaný s PVC izolací. Uvažovalo se využít vojenský kabel PK-1, který byl dostupný v radioklubu. Vodivost PK-1 je sice vyšší oproti vázacímu drátu ale v pevnosti a kvalitě je rozdíl obrovský.

3.6 Uzemnění antény

V sezóně teplých letních dnů je nutno počítat s náhlými změnami počasí. Obvykle před letní bouří nebo deštěm lze dostat při dotyku svorek dlouhohrátkové antény nepříjemnou ránu. Jedná se o statickou elektřinu a pro člověka je to neškodný výboj. Člověku tedy nehrozí v tomto případě nebezpečí, ovšem je možnost poškození polovodičových prvků nebo kondenzátorů ve vstupních obvodech. V opačném případě je nutné najít účinnou ochranu před přímým úderem blesku do antény. Je proto nutné anténu jistit bleskojistkou nebo jiskřištěm. Uzemňovací drát od bleskojistky by měl být z mědi či hliníku s největším průměrem. Základní anténní uzemňovací systém lze vidět na obrázku 3.10.



Obrázek 3.10: *Základní anténní uzemňovací systém*

4 Typy krátkovlnných antén

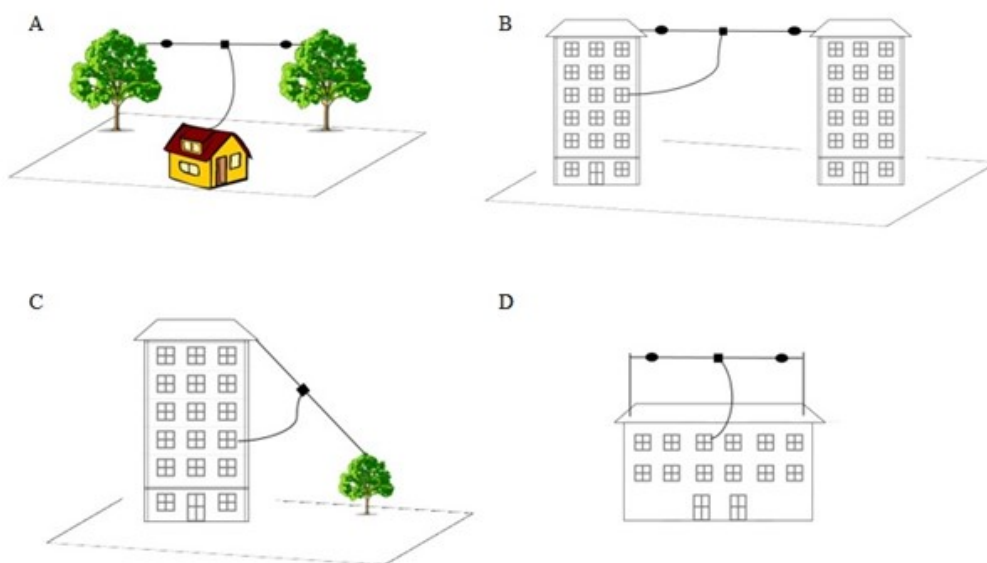
Při návrhu antény je důležité zvážit rozsah pracovního kmitočtu, konstrukce, směrové vlastnosti, umístění do zástavby a mnoho dalších faktorů. U krátkovlnných antén se na dlouhé spojení využívá prostorová vlna, která se odráží od ionosférické vrstvy, začínající ve výšce okolo 100 km [7]. Pro dlouhé spojení musí být energie vyzařena z antény pod nízkým elevačním úhlem.

V této kapitole budou uvedeny možné varianty krátkovlnných antén a jejich praktické řešení a v páté kapitole bude vybrán vhodný typ antény a patřičné umístění krátkovlnné antény v kampusu VŠB-TUO.

4.1 Dlouhohrátkové antény

Na krátkovlnném pásmu se hojně využívají drátové antény, které jsou vyrobeny z lanka nebo drátu (nejčastěji měď). Dlouhohrátkové antény jsou zavěšovány vodorovně, mezi budovami nebo stromy. Měděné lanko musí mít dostatečnou pevnost, zpravidla se používá drát o průměru 2 až 6 mm a zároveň jsou potřebné napínací systémy.

Na obr. 4.1 lze vidět různé možnosti zavěšení dlouhohrátkové antény podle místních podmínek (rozmístění stromů, budov apod.). Nevýhodou instalace této antény je, že může dojít k neshodě a k problémům se sousedními nájemníky či s majitelem nemovitosti. Hlavní výhodou dlouhohrátkové antény je velmi jednoduchá konstrukce a nízká cena.



Obrázek 4.1: *Zavěšení dlouhohrátkových antén [3]*

Při výběru antény je potřeba pomyslet na několik hledisek, které mohou ovlivnit správný výběr. Za prvé, především místo instalace, u kterého je důležitá výška a směr zavěšení, způsoby kotvení na budovy nebo na stromy, vzdálenost mezi kotevními body. Za druhé, délka napáječe a způsob napájení antény.

Například pokud radioamatér bydlí v přízemí vysoké budovy, je nutné zvážit, zda se vyplatí natahovat anténu až na střechu domu. Použití dlouhého napájecího vedení by přesáhlo cenu samotné

antény. V tomto případě se jako řešení naskytá možnost skloněné antény (viz obr. 4.1). Je nutné zdůraznit, že na krátkovlnných pásmech neovlivňuje výška zavěšení drátové antény dosah rádiového spojení tak výrazně, jako na VKV (velmi krátké vlny) pásmu. Nicméně z hlediska impedance a diagramu záření by neměla být drátová anténa níže než $\lambda/4$ nad zemským povrchem. Lze zkonstruovat anténu jednopásmovou nebo vícepásmovou, která může pracovat na několika radioamatérských pásmech.

Pro vícepásmovou dlouhadrátovou anténu lze definovat tři základní podmínky [3]:

- Délka antény musí být celým násobkem poloviny základní pracovní vlnové délky (s přihlédnutím na činitel zkrácení k , závislém na štíhlosti antény).
- Anténa musí být impedancečně přizpůsobena k napáječi, respektive k vysílači.
- Symetrická anténa se napájí symetrickým vedením (napáječem) a nesymetrická anténa napáječem nesymetrickým (koaxiálním kabelem).
- Pro impedanceční přizpůsobení antény se v praxi používají anténní přizpůsobovací obvody (LC články) často nazývané transmatch, označované taky jako ATU (Antenna Tuning Unit).

4.1.1 Anténa LW (Long-Wire)

Z anglického překladu „dlouhý drát“ je anténa, zhotovena obvykle z měděného vodiče natažená mezi vysílačem a závěsným bodem. Je připojena napřímo k vysílači, tudíž nemá samostatný napáječ. Jak už bylo výše uvedeno, tak i zde délka antény LW musí odpovídat násobku poloviny základní vlnové délce a také se s její délkou zvyšuje zisk i narůstá její impedance. Hlavní výhodou LW antény je nízká pořizovací cena a mezi nevýhody patří její délka při požadování vyššího zisku na nejnižším frekvenčním pásmu. Anténa by měla být umístěna v nezastavěné oblasti, což může být ve městě značný problém. Celková rezonanční délka antény lze pro jednotlivá pásma vypočítat podle následujícího vzorce [3]:

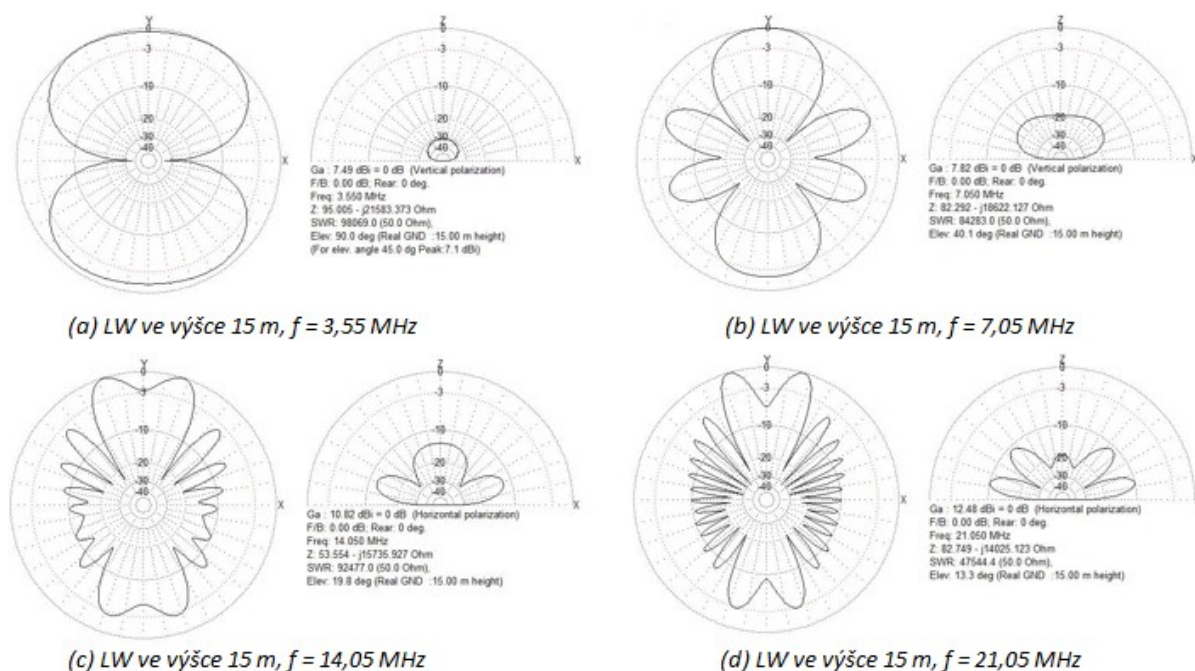
$$L = \frac{150 \cdot (n - 0,05)}{f} \quad (4.1)$$

Kde jsou:

L – délka antény [m]

n – počet půlvln na délku antény [-]

f – rezonanční frekvence [Hz]



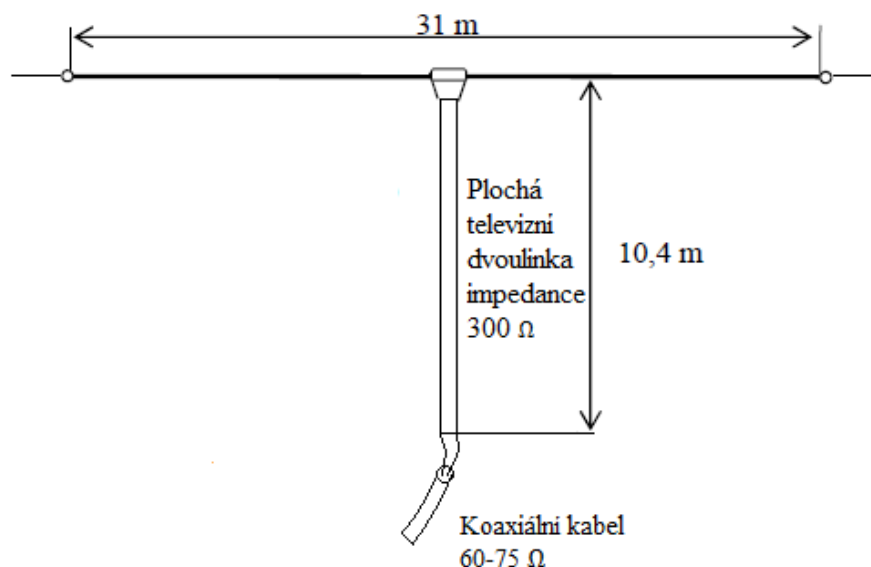
Obrázek 4.2: Vyzařovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

U antény LW se projevuje nedostatečný charakter vyzařování s nárůstem použitých kmitočtů. V pásmu 14 a 21 MHz se zmenšuje vyzařovací charakter v hlavních směrech. U antény LW s nárůstem délky vedení roste její impedance. Takové nepřizpůsobení v praxi znamená velké PSV, kde se značná část výkonu vrací zpět k vysílači. Pro účel této práce je z tohoto důvodu tato anténa nedostačující.

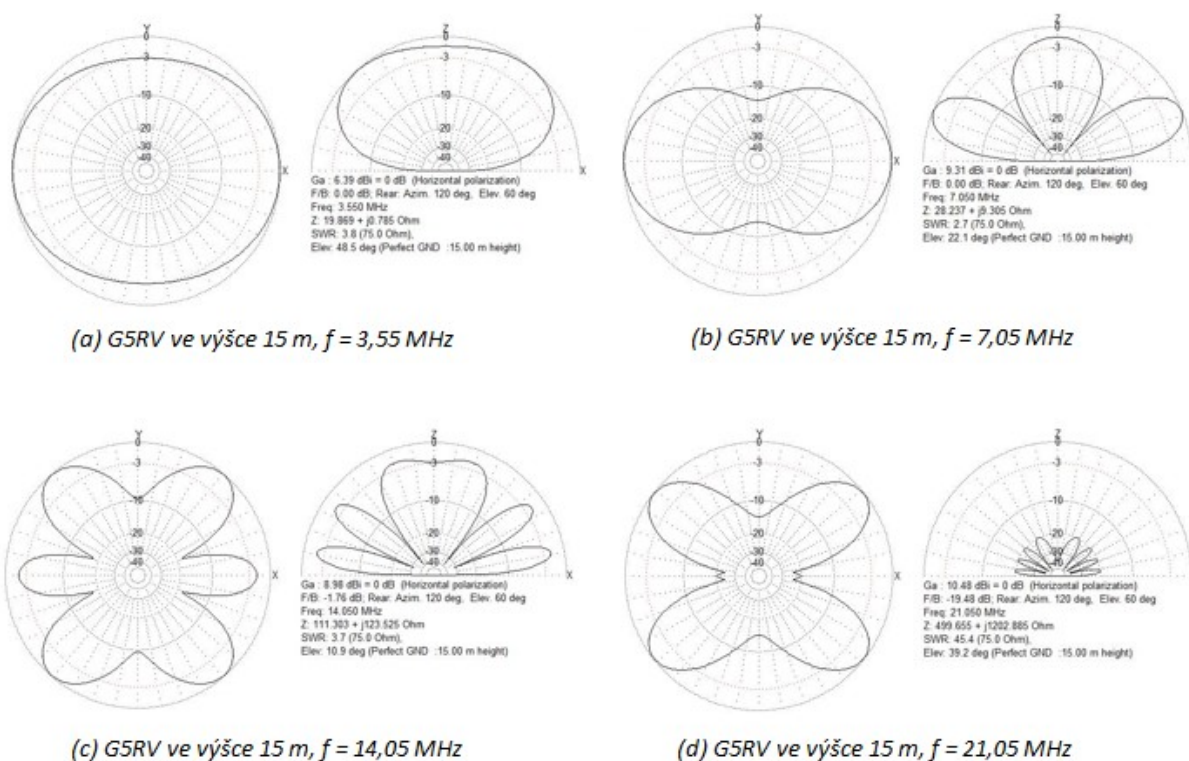
4.1.2 Anténa G5RV

Anténa byla navržena ve Velké Británii amatérem Louis Varner G5RV. Je odvozena z předchozí antény Double Zepp a lze ji provozovat na všechny radioamatérská KV pásma. Jako laděné transformační vedení se používá symetrický televizní napáječ (dvoulinka) 300 Ω , o délce 10,4 m, na jehož počátku je obvykle impedance 75 Ω , což umožňuje napájení koaxiálním kabelem [3]. Pro přizpůsobení antény v určitých pásmech je nutné použít π článek, popřípadě ATU na výstupu vysílače.

Anténa je navržena pro kmitočet 14 MHz, kde symetrické vedení slouží jako transformátor 1:1 na daném kmitočtu a není nutné použít doladovací člen. PSV je cca 2:1 na 14 MHz. Na dalších pásmech je nutné použít anténní tuner, jelikož PSV není v poměru 1:1. V pásmu 10 m má každá polovina antény délku $3/2 \lambda$. Na svorkách antény je vysoká impedance. Napájecí vedení je dlouhé přibližně $5/4 \lambda$, chová se tedy jako transformátor a převádí vysokou impedanci antény na nízkou impedanci koaxiálního kabelu. Proto zde také nezáleží na jeho celkové délce. Diagram záření je stejný jako u dipólu s celkovou délkou 3λ . Anténa pracuje v pásmu 10 m velmi dobře [3]. Na obr. 4.3 lze vidět anténu G5RV.



Obrázek 4.3: Anténa G5RV



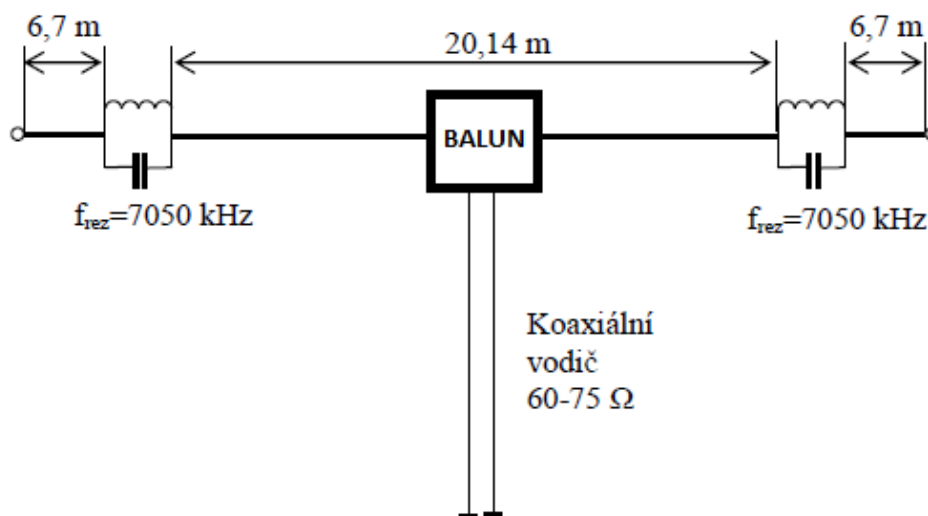
Obrázek 4.4: Vyzářovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

Anténa G5RV svou jednoduchou konstrukcí a vyzářovacími charakteristikami na všech čtyřech pásmech získala velkou oblibu v radioamatérské komunitě. Tato konstrukce má také nevýhody ve stárnutí symetrického napáječe (dvoulinky) a dochází tak ke změně vlastností a horší mechanické odolnosti. Anténa G5RV je konstrukčně jednoduchá, a proto nebyla zvolena v této práci.

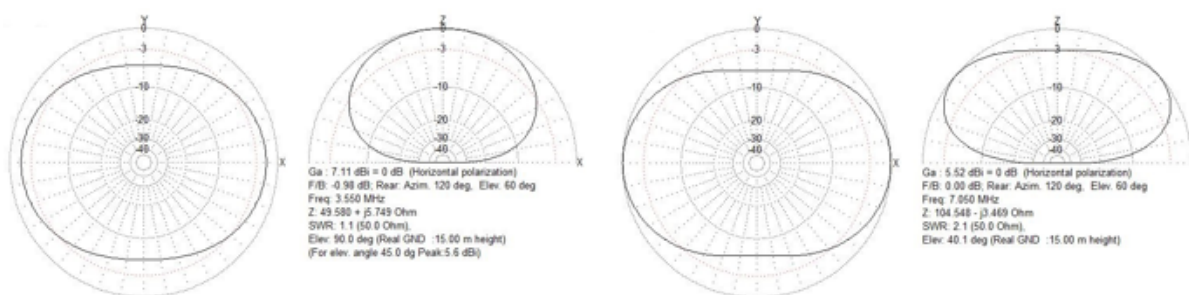
4.1.3 Anténa W3DZZ

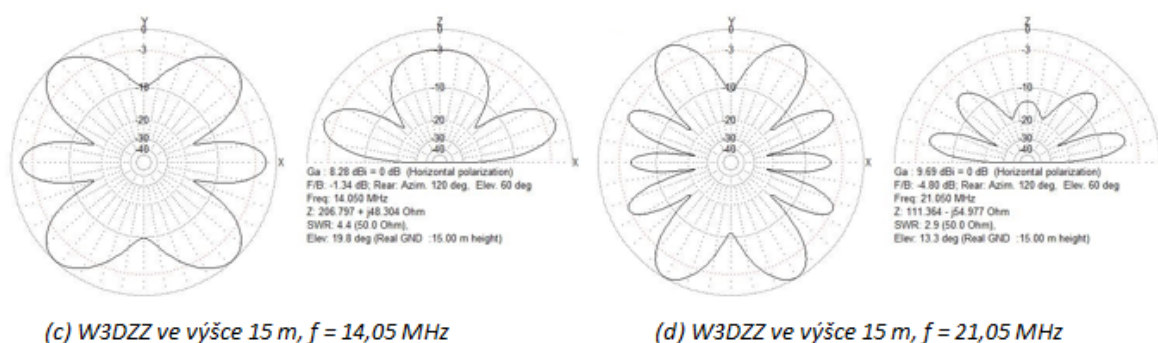
Jedná se o vícepásmovou anténu, která byla zkonstruována v Americe. Je to symetrická dipólová anténa s trapy (paralelní rezonanční LC obvody), umožňující práci na třech amatérských pásmech. Pokud bude anténa instalována horizontálně, bude jeho vstupní impedance mezi 50 a 90 Ω . Na kmitočtu 3,5 MHz má vlastnosti vyzařování podobné jako u čtvrtvlnného dipólu a při 7 MHz podobné jako u půlvlnného dipólu. Zhotovit účinnou anténu W3DZZ pro celý rozsah amatérského pásma je technicky obtížné [8].

Základní uspořádání antény je uvedeno na obr. 4.5.



Obrázek 4.5: Anténa W3DZZ





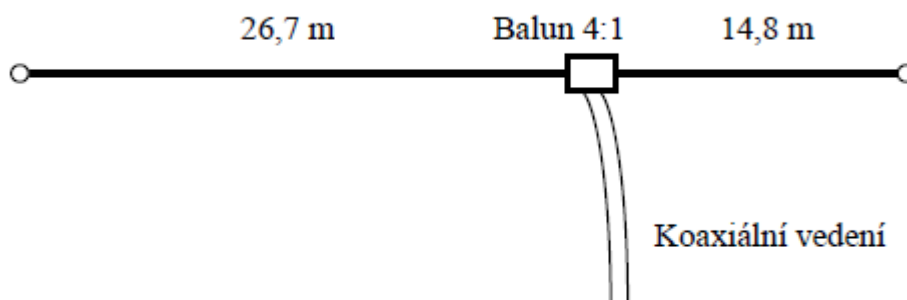
Obrázek 4.6: Vyzařovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

Z praxe anténa vykazuje (při zachování pásma 14,05 MHz) malou účinnost na pásmech 3 a 7 MHz. Jelikož je i pásmo 14 MHz pro nás důležité, bude tento faktor v rámci rozhodování výběru antény důležitý a pokud bude tento typ vybrán pro stavbu, je nutné brát ostatní pásma jako určitý kompromis se zhoršením PSV.

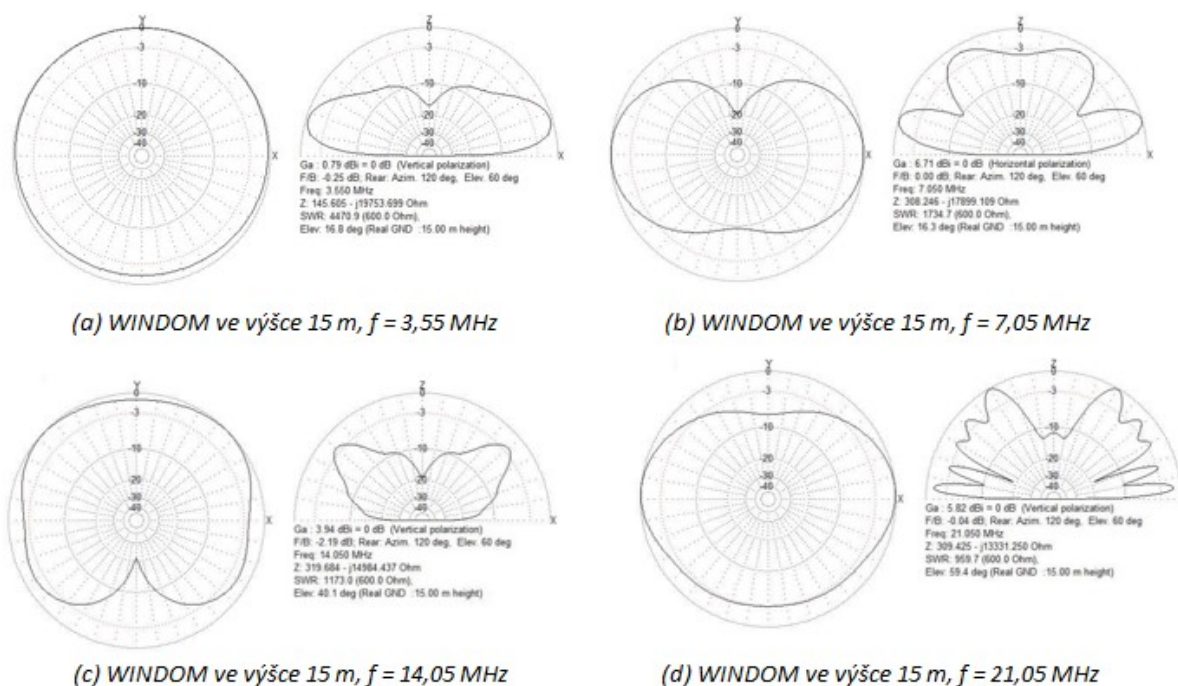
4.1.4 Anténa WINDOM

V radioamatérské literatuře je anténa častěji poznamenána jako WINDOM a její modifikace. Poprvé ji popsal L. G. Windom (W8GZ), jako půlvlnnou anténu s jednodrátovým napáječem. Původci jednodrátového napájení byli dva jeho přátelé J. Byrne a E. F. Brooke, posluchači elektrotechniky na Ohio State University. Aktuálně vyrobené antény se od původního provedení liší pouze způsobem napájení. Je opět excentrické (zářič je napájen přibližně v jedné pětině až třetině své délky, kde je rozdělen izolátorem na dvě části). Napáječ už není pouze jediný vodič, nýbrž souosé nebo symetrické vedení. Ve finále lze říct, že se jedná o jinou anténu, a i přes to zůstává její pojmenování Windom stejné pro svoje excentrické napájení. Původní anténa Windom a její jednodrátový napáječ ve skutečnosti vyzařuje. Dnes jsou Windom vyráběny s nevyzařujícím napáječem a jsou provozovány jako vícepásmové antény.

Anténa je nesouměrným vícepásmovým zářičem. Jak anténa vypadá je znázorněno na obr. 4.7. Anténa má v malé výšce nad zemí přibližně 200 Ω . Při zvyšování antény se impedance zvětšuje. Používá se feritový balun při napájení antény, který transformuje impedanci v poměru 4:1 a je umístěn v úseku, kde se impedance antény na všech pásmech přibližuje hodnotě přibližně 300 Ω . To znamená, že za balunem lze k napájení antény použít koaxiální kabel. Anténa je vyrobena z měděného drátu s průměrem 4 mm. Anténa by měla být zavěšena alespoň ve výšce 15 až 20 metrů a vyhovovat na všech KV pásmech. Pro dobré přizpůsobení je nutný přizpůsobovací člen ATU na výstupu vysílače.



Obrázek 4.7: Vícepásmová anténa WINDOM



Obrázek 4.8: Vyzářovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

Tato varianta se jeví jako jedna z možných řešení pro potřeby této práce a použitých kmitočtů ale kvůli jednoduché konstrukci nebude zvolena.

4.2 Smyčkové antény

Nejvíce populární u smyčkových antén jsou Quad (smyčka = Quad) antény, které patří mezi nejlepší antény pro dálková (DX) spojení na radioamatérských KV pásmech. Polarizace antény záleží na poloze napájení. Jestliže je napájení uprostřed vodorovné části smyčky je polarizace horizontální, pokud je napájení uprostřed svislé části smyčky, polarizace je vertikální. Je to dáno rozložením v proudů a napětí podél celé smyčky.

Elevační úhel směrové antény Quad je menší než u antény Yagi-Uda se stejným počtem prvků, umístěné ve stejné výšce. Jestliže je anténa výš a výš, zmenšuje se jeho úhel maximálního záření. Proto když je tato anténa používána, je převážně ovlivňována překážkami (vysoké budovy, hory apod.) právě z důvodů nízkého vyzářovacího úhlu. Je dáno, že zisk směrové antény Quad je vyšší než zisk Yagi-Uda

antény se stejným počtem prvků. Zisk tříprvkové Yagi-Uda antény odpovídá zisku o polovinu kratší dvouprvkové anténě Cubical Quad.

Impedance Quad antény se pohybuje mezi 56Ω a 75Ω . Lze ji proto napájet koaxiálním kabelem. Obvod jednotlivých prvků (smyček) 3prvkové Quad antény se počítá pomocí následujících vzorců [3].

$$L_R = 309/f \quad (4.2)$$

$$L_Z = 301/f \quad (4.3)$$

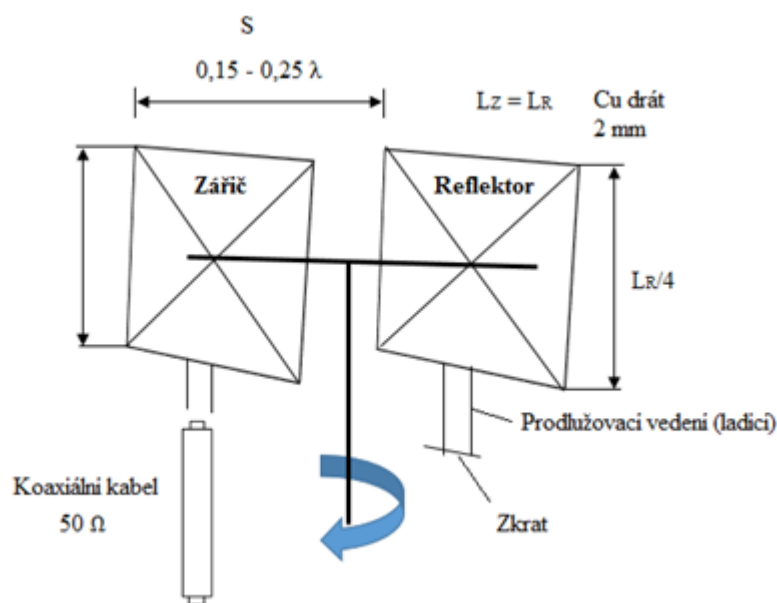
$$L_D = 293/f \quad (4.4)$$

Kde,

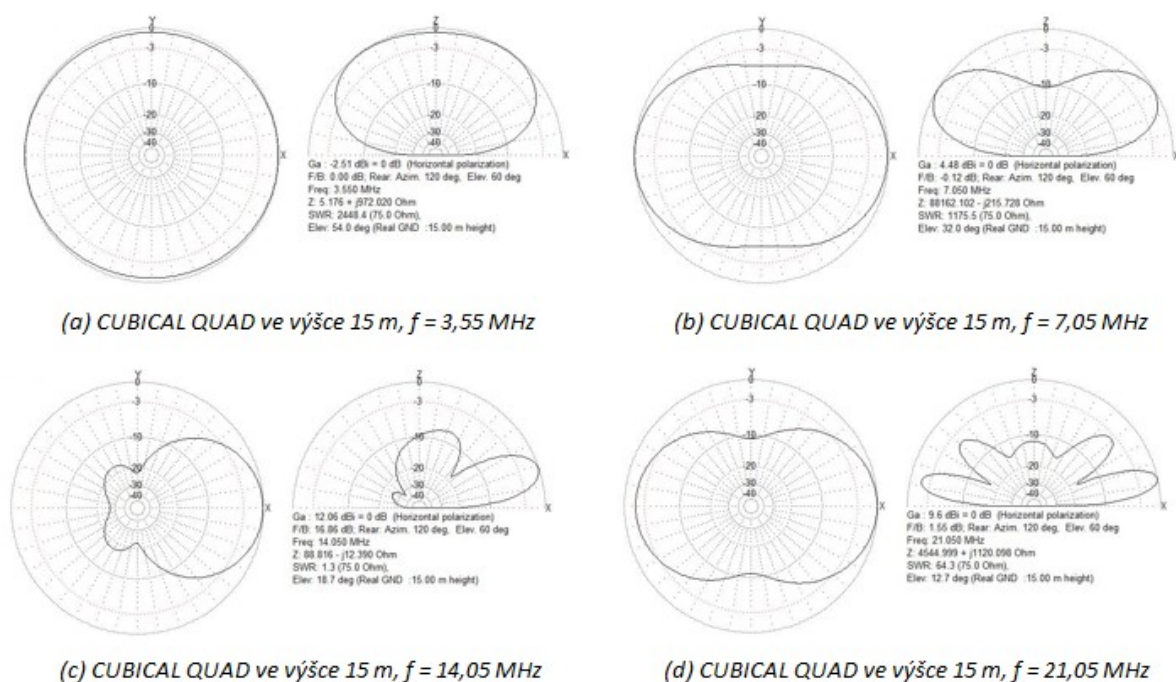
- L_R je délka reflektoru [m]
- L_Z je délka zářiče [m]
- L_D je délka direktoru [m]
- f je rezonanční kmitočet antény [MHz]

4.2.1 Dvouprvková anténa – Cubical Quad

Na obrázku 4.9 je znázorněna nejjednodušší dvou prvková anténa Cubical Quad. Smyčka reflektoru se doladuje při změně délky vedení, které je ve středu vodorovného úseku smyčky. Tato smyčka je převážně vyrobena z měděného lanka a jako kostra antény je například z bambusu nebo laminátu. Smyčka zářiče je napájena koaxiálním kabelem [3].



Obrázek 4.9: Dvouprvková Cubical Quad anténa

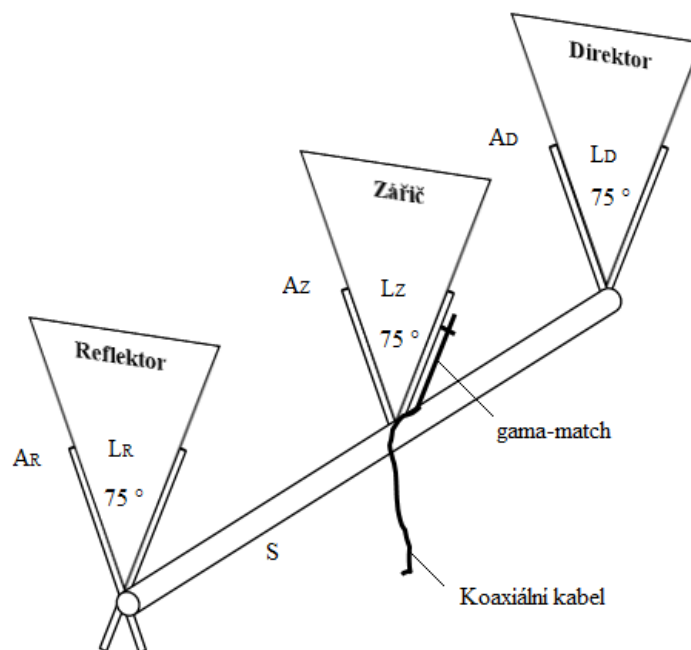


Obrázek 4.10: *Vyzařovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině*

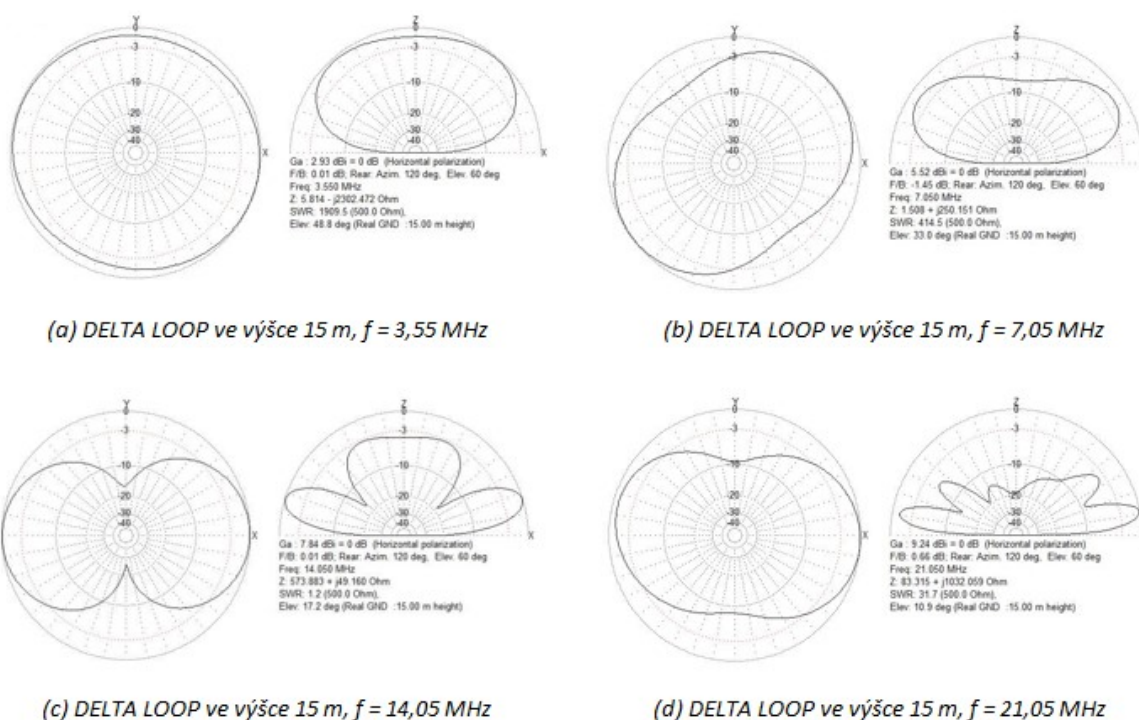
Jednou z největších nevýhod Quadů je jejich náchylnost na poškození vlivem počasí. Anténa má sice velmi malou hmotnost a malý poloměr otáčení, ale její výroba je komplikovaná, nastavování a ladění je obtížné. Pro potřeby této práce je tato varianta nevhodná.

4.2.2 Anténa Delta – Loop

Anténa Delta-Loop spadá do kategorie smyčková anténa, viz. obrázek 4.11. Má tvar rovnoramenných trojúhelníku s převrácenými vrcholy. Vf napětí na vrcholu trojúhelníkových smyček je nulové, a tudíž je lze jednoduše mechanicky připojit k nosné konstrukci. Rozteče (S) mezi jednotlivými prvky je zhruba $0,17-0,20 \lambda$. Trojúhelníková smyčka (aktivní prvek) je napájena bočníkově (gamma-match). Sériovou kompenzační kapacitu bočnicku vytváří vnitřní vodič napájecího koaxiálního kabelu s dielektrickou izolací. Stínění koaxiálního kabelu se upevní do bočníkové tyče a galvanicky se spojí s ráhmem antény. Přizpůsobení antény se mění pomocí změny kapacity bočnicku (vysouváním a zasouváním vodiče) [3].



Obrázek 4.11: Tříprvková anténa Delta-Loop



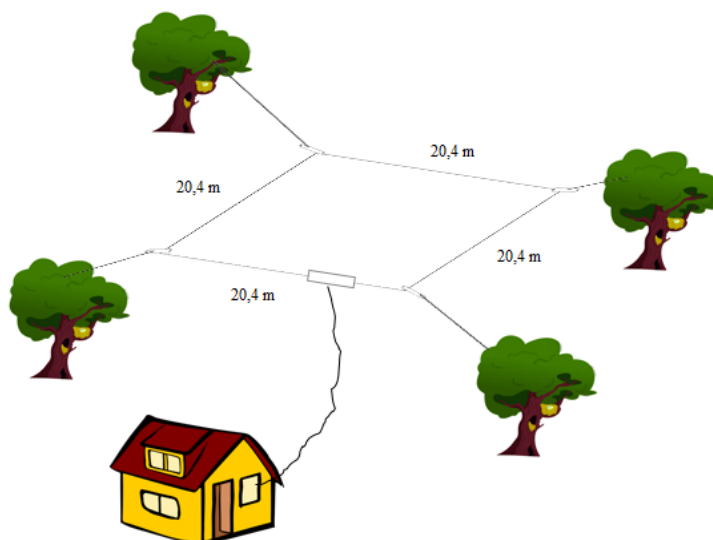
Obrázek 4.12: Vyzářovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

Tento typ antény dosahuje téměř malých rozměrů a jejich využití je především na stožárech. Konstrukčně je složitější a náchylnější na deformace. Tuto konstrukci mohou poškodit ptáci. Za těchto okolností se anténa stává nepoužitelná.

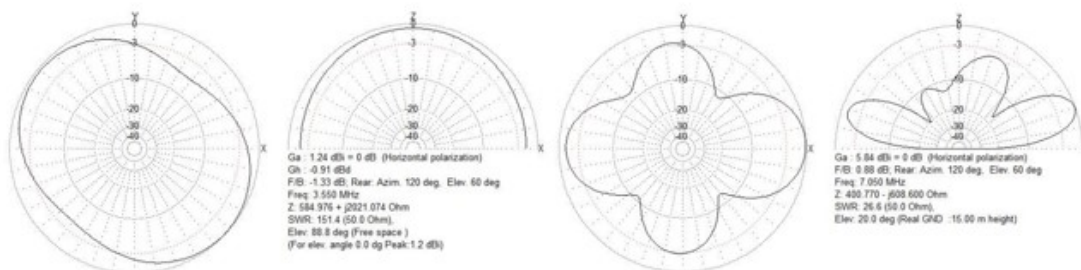
4.2.3 Vícepásmová čtvercová anténa

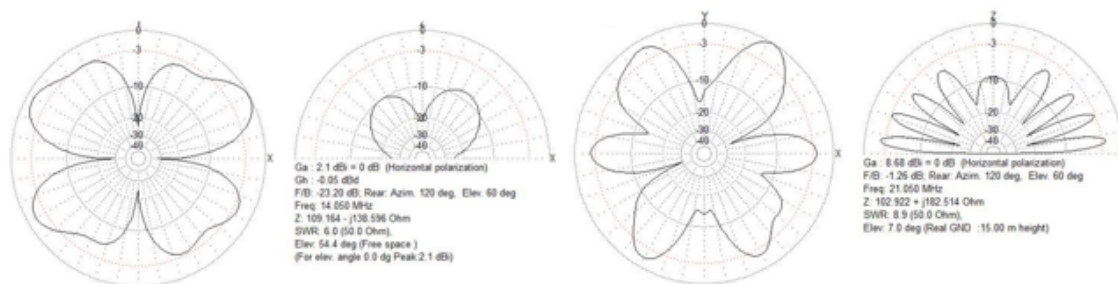
Čtvercová vícepásmová anténa je zobrazena na obr. 4.13. Patří do kategorie smyčkových antén. Má tvar čtverce nebo kosočtverce. Základní vlnová délka antény činí $\lambda = 81,6$ m, a tudíž mají všechny strany stejnou délku 20,4 m. Princip činnosti spočívá v tom, že jejich délka na vyšších harmonických pásmech 40, 20, 10 stává celistvým násobkem základní vlnové délky. Mezi polskými radioamatéry je tato anténa velmi oblíbená ve tvaru trojúhelníku [3].

Visí vodorovně ve výšce alespoň 12 m. Ve čtyřech bodech je zavěšená přes izolátory pomocí silonových lanek. Je napájena 50 Ω koaxiálním kabelem. Pro lepší přizpůsobení lze použít přizpůsobovací člen (transmatch – anténní tuner, ATU) na výstup vysílače. Autor antény (W0MHS) upozorňuje, že tuto anténu lze použít i na pásmo 1,8 MHz, kdy se stínění koaxiálního kabelu použije jako vertikální zářič, zakončený kapacitou horizontální smyčky a na výstupu ATU se odpojí stínění koaxiálního kabelu od země a připojí se s jeho vnitřním vodičem [3].



Obrázek 4.13: Vícepásmová čtvercová anténa





(c) ČTVERCOVÁ ANTÉNA ve výšce 15 m, $f = 14,05$ MHz

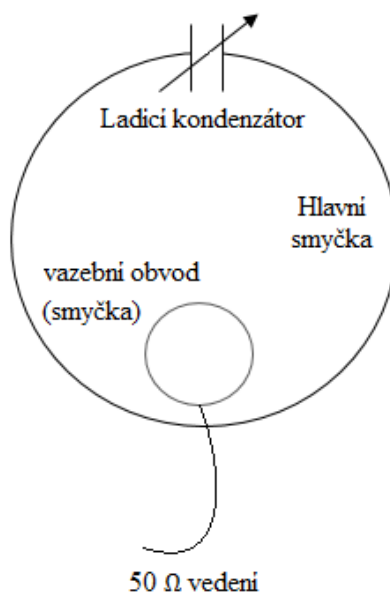
(d) ČTVERCOVÁ ANTÉNA ve výšce 15 m, $f = 21,05$ MHz

Obrázek 4.14: Vyzařovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině

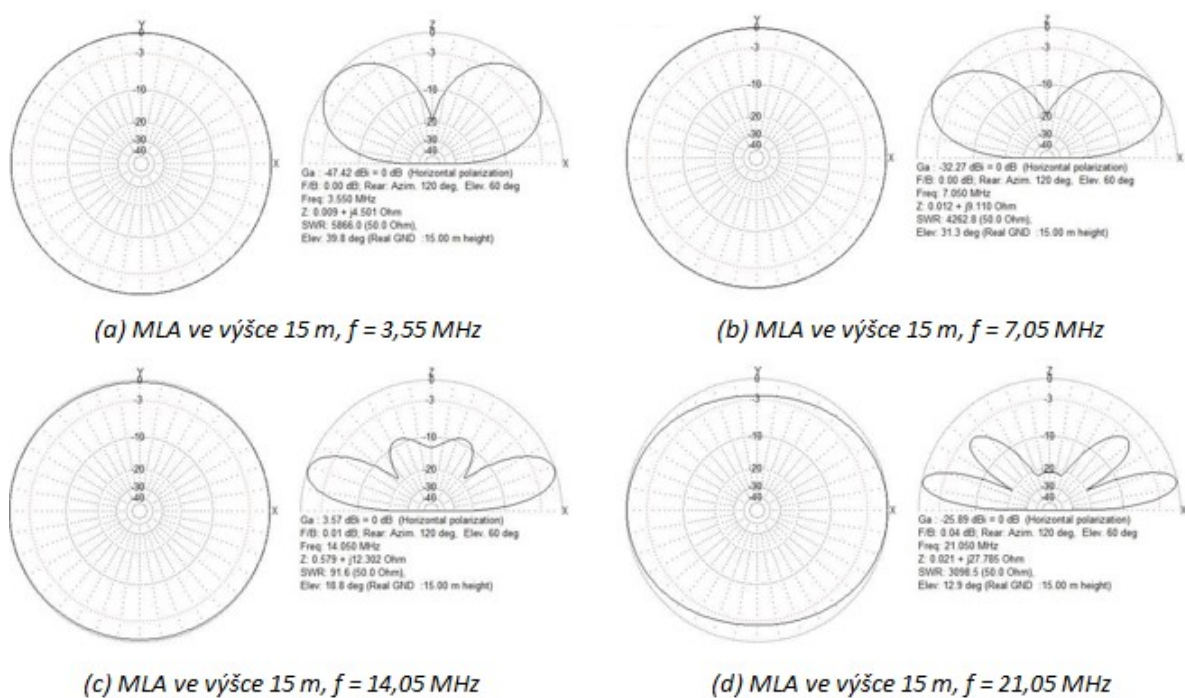
U této konstrukce antény jsou dobré vyzařovací (všesměrové) vlastnosti na kmitočtu 3,55 MHz. V pásmu 7,05 MHz se již projevuje směrovost antény a v případě dobrého umístění antény je tato směrovost výhodou. V rámci možností umístění antény v prostoru splňuje vícepásmová čtvercová anténa naše kritéria, a to velikost, konstrukční jednoduchost a vyzařovací charakteristiku.

4.2.4 Magnetická anténa MLA

Elektricky malé smyčkové antény – častěji nazývané magnetické antény (Magnetic Loop Antenna – MLA). Řadí se mezi jednoduché antény a tvar smyčky může být ve formě čtverce, trojúhelníku, šestiúhelníku nebo kruhu stejně jako u rámové antény. Pokud se srovná tato anténa s půlvlnným dipólem jakožto základním typem antény, velikost bude téměř 5x menší. Anténa je podstatě tvořena cívkou se vzduchovým jádrem s různým tvarem, která generuje blízké magnetické pole (generování pole kolem závitů cívky). Lze ji srovnat k malému magnetickému dipólu. Anténu MLA lze rozčlenit na několik částí. Hlavní smyčka, ladící kondenzátor a vazební obvod (obrázek 4.15). MLA anténu si lze představit jako klasický LC obvod, jehož indukčnost L představuje hlavní smyčka s jedním nebo několika závity a kondenzátor. Vazební obvod umožňuje předávat energii z/do LC obvodu MLA antény. Existuje několik variant těchto vazebních obvodů.



Obrázek 4.15: Základní části antény MLA



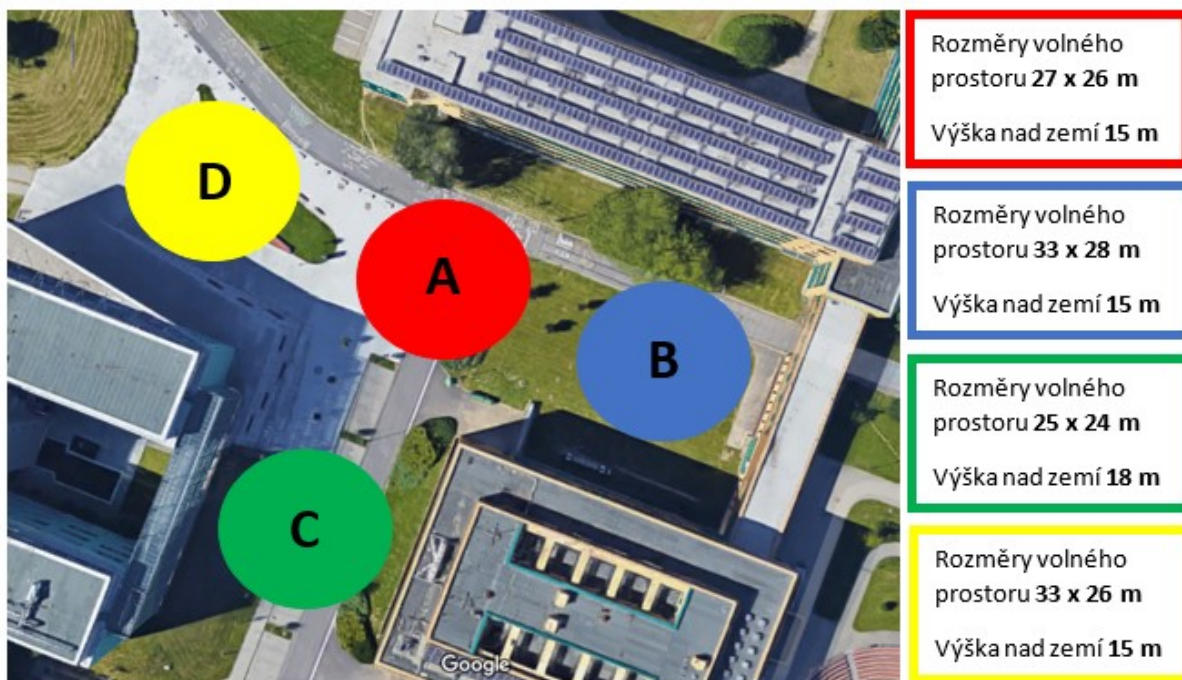
Obrázek 4.16: *Vyzařovací charakteristika v horizontální (vlevo) a vertikální (vpravo) rovině*

Magnetické antény jsou výhodné hlavně pro své malé rozměry a využívají se pro portable aktivity. Jsou snadno přenosné a během několika minut je anténa připravena k vysílání. Vzhledem ke svým rozměrům, jsou tyto antény především využívány uvnitř budov. Anténa je robustní a dosahuje velmi dobrých výsledků, ale bohužel není konstruována jako voděodolná. Pro potřeby této práce anténa nevyhovuje [9].

5 Návrh KV drátové antény

5.1 Výběr vhodné antény

Pro realizaci antény je nejprve nutné vybrat vhodný typ antény. Na základě studie vlastností uvedených antén bylo rozhodnuto z důvodu vysílání na více pásmech k realizaci vícepásmové čtvercové antény. Po zvažování různých možností se zrodila myšlenka na konstrukci další drátové antény. Vhodnou volbou je anténa typu W3DZZ s trapy, jejíž délka činí 33,6 m natažená po diagonále čtvercové antény. V praxi by se tyto antény přepínali podle potřeby vysílání. Anténa natažená po úhlopříčce by mohla sloužit pro potřeby radioamatérského kroužku. Čtvercová anténa bude navržena pro vysílání převážně na kmitočtu 3,6 MHz a W3DZZ bude využívána na všech kmitočtových pásmech. Anténní soustava je vodorovně zavěšena ve výšce 15 m a uchycena ve čtyřech bodech. Čtvercová anténa je napájena symetrickým napáječem a anténa W3DZZ 50 Ω koaxiálním kabelem. Pro přizpůsobení vstupní impedance je použit anténní přizpůsobovací obvod (ATU). Mezi koncovým zařízením a ATU je připojen PSV metr. Anténní soustava je umístěna v prostoru mezi budovami NK, E a novou budovou FEI viz obr. 5.1. Níže na snímcích jsou zakresleny možné varianty umístění anténní soustavy v kampusu VŠB-TUO a popsány jejich výhody a nevýhody. Pro radioamatéry jsou nejzajímavější oblasti zámořské (mimoevropské kontinenty). Atraktivní jsou USA, Kanada, a proto je požadovaný směr pro vysílání severozápad (azimut $320^\circ = -40^\circ$). V některých místech umístění antény je severozápadní směr otevřený, jinde nikoliv. Všechny níže uvedené snímky jsou čerpány ze serveru Google Maps.

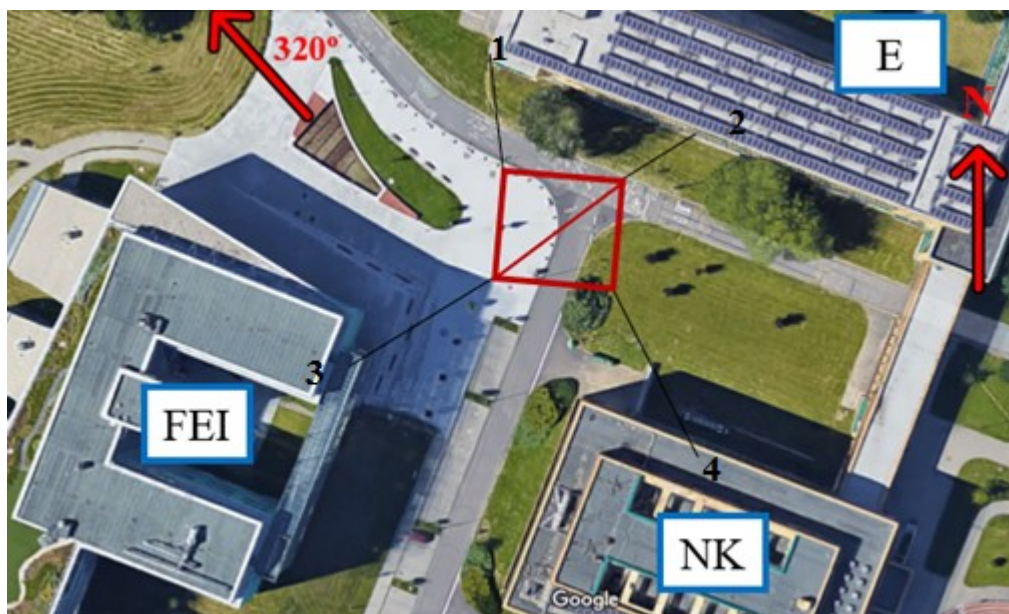


Obrázek 5.1: Mapa areálu s vyznačením prostoru

5.2 Možné varianty umístění antény v prostoru

5.2.1 Varianta A

U varianty A je anténní soustava kotvena na čtyřech místech. Po uhlopříčce je natažená anténa typu W3DZZ, její délka činí 33,6 m. Délka jednoho ramene čtvercové antény je 20,4 m. První kotevní bod (3) je požární schodiště budovy FEI a délka kotevního lana je 29 m. Další dva kotevní body jsou na střeše E (1,2), přičemž délky kotevních lan směrem k této budově jsou 21 a 20 m. Poslední kotevní lano (4) napnuté k budově NK má délku 28 m. S pomocí již zmíněných délek kotevních lan je anténní soustava přes izolátory natažená do svojí podoby. U téhle varianty je velkou výhodou především dostatečný prostor pro natažení antény. Severní, jižní a východní směr je částečně stíněný okolními budovami. Severozápadní směr je otevřený a nenacházejí se zde žádné překážky. Nevýhodou u této varianty je využití všech třech budov coby kotvicí body a vzdálenost od radioklubu. Délky napáječů anténní soustavy jsou ve vzdálenosti 33 m a 20 m.



Obrázek 5.2: Varianta A

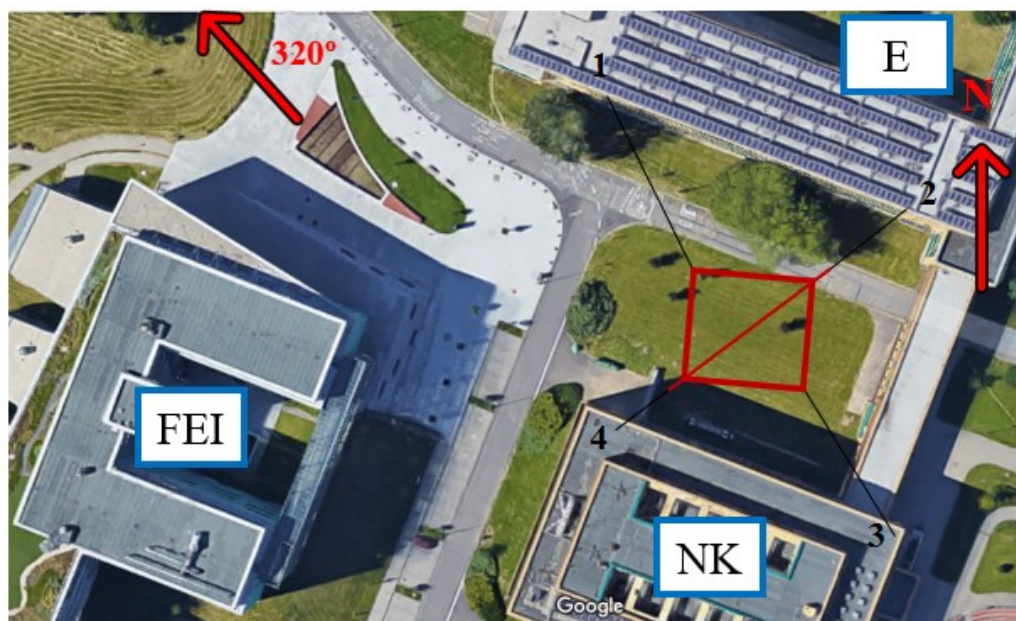
5.2.2 Varianta B

U varianty B je anténní soustava umístěna mezi budovou E a NK zavěšená ve výšce 15 m. Je přes izolátory natažena pomocí kotvicích lan o délkách 13 m, 24 m, 28 m, 44 m, které jsou připevněny do kotvicích bodů. První dva (1,2) se nacházejí na střeše budovy E, kde do konstrukčního hliníkového profilu solárních panelů jsou vyvrtány dva otvory, pro připevnění kotevních prvků. Druhé dva kotvicí body (3,4) jsou na střeše NK, kde v levém rohu budovy bude použita konstrukce, která je nevyužita. Druhá konstrukce bude vyrobena a použita v pravém rohu budovy jakožto poslední čtvrtý kotevní bod (4).

Severní, jižní a východní směr je opět částečně stíněný okolními budovami. Severozápadní směr je otevřený a nenacházejí se zde žádné překážky. Dle požadovaného směru vysílání (azimut 320°) je anténní soustava opět natočená severozápadním směrem a hlavní lalok vyzařovacího diagramu tímto směrem také vyzařuje.

U této varianty je velkou výhodou využití dvou budov jako kotvící body. Budova FEI není využita. Lze proto předpokládat jednodušší práci při zvedání antény do výšky 15 m a následné ukotvení. Další výhodou je vzdálenost antény od budovy NK, kde sídlí radioklub ve čtvrtém patře. Napájecí body anténní soustavy jsou blíže k budově a délky napáječů jsou 21 m a 23 m.

Ze snímku lze vidět, že situace dvou stromů u budovy E jsou částečnou překážkou při ukotvení antény, a to se jeví jako menší nevýhoda. U této varianty možného umístění převyšují výhody než nevýhody.



Obrázek 5.3: *Varianta B*

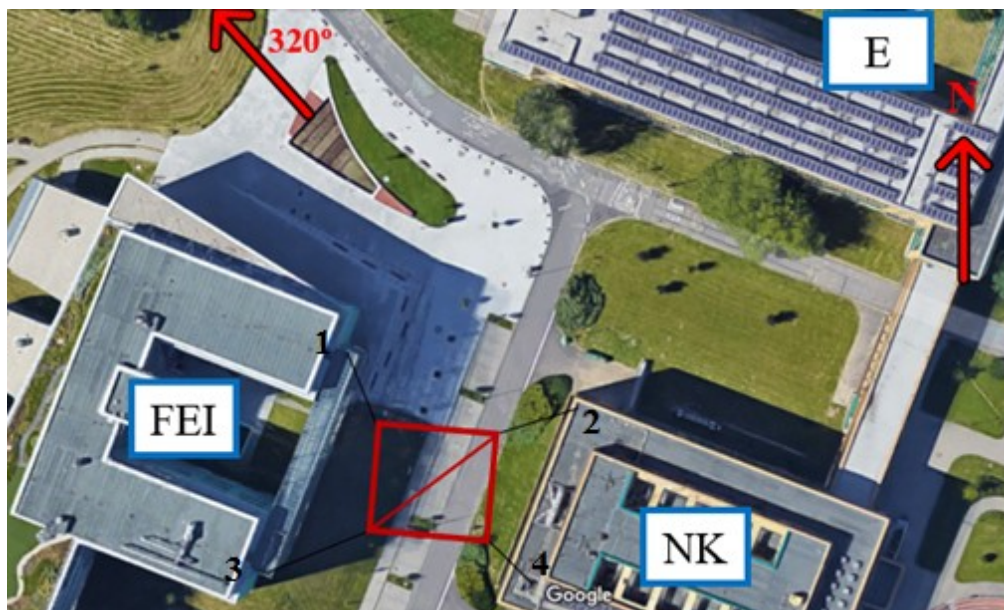
5.2.3 Varianta C

U varianty C se jako další možnost jeví anténní soustavu umístit mezi budovami FEI a NK zavěšenou ve výšce 18 m. Budova E není využita. Anténní soustava je opět přes izolátory natažená pomocí kotvících lan upevněných do kotvících bodu o délce 13 m, 17 m, 12 m a 13 m. Dva kotevní (1,3) body jsou požární schodiště budovy FEI a zbylé dva body (2,4) jsou na střeše budovy NK.

Dle požadovaného směru je anténní soustava natočená severozápadním směrem. Východní a západní směry jsou zcela zastíněny budovami FEI a NK. Severní směr není zcela otevřený, kde stojí budova E. Jedinou otevřenou stranou je jižní směr, který ale není preferovaný pro vysílání.

Využití kotvících bodů (1,3) jako požární schodiště se zdá být jako dobré řešení pro ukotvení anténní soustavy. Zato nevýhoda je menší prostor pro umístění mezi budovami a radioklub, který sídlí v budově NK, je situován severním směrem. Připojení napáječů by bylo komplikované a jejich délky by byly dlouhé, cca 34 m a 25 m.

Jelikož požadovaný směr vysílání je severozápadně, tato varianta se jeví jako nejméně vhodná z důvodů stínění budovy FEI a vzdálenosti radioklubu od anténní soustavy.



Obrázek 5.4: *Varianta C*

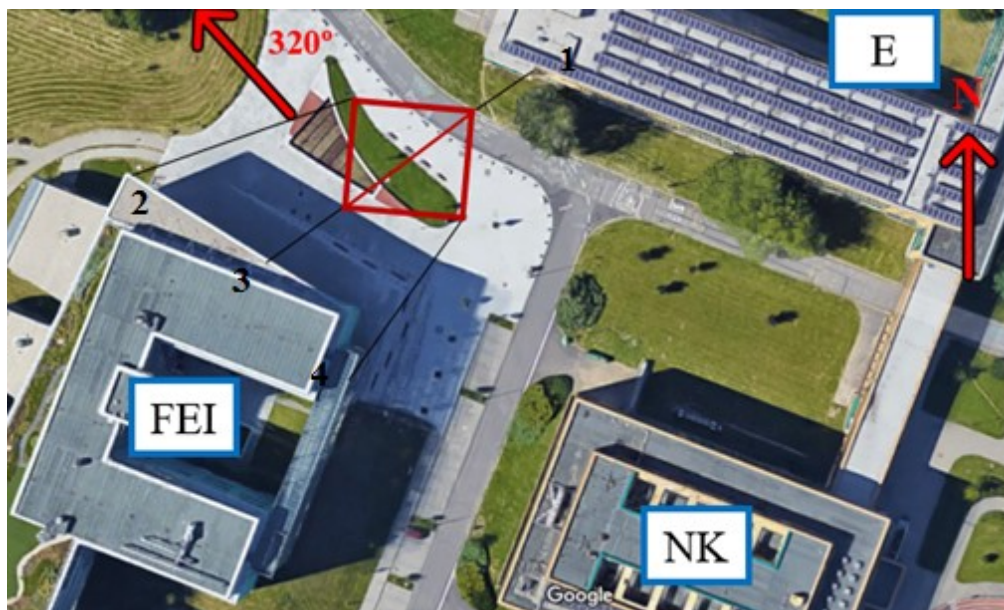
5.2.4 Varianta D

Poslední možností umístění anténní soustavy je mezi budovou FEI a E napnutou ve výšce 15 m. Toto řešení je obdobné s variantou A s tím rozdílem, že není využita budova NK při kotvení a celá konstrukce antény je ve větší blízkosti budovy FEI. Anténní soustava je přes izolátory natažena pomocí kotvicích lan o délce 35 m, 14 m, 36 m, 15 m, které jsou připevněny do kotvicích bodů. První tři kotvicí body (2,3,4) se nacházejí na střeše budovy FEI a čtvrtý bod (1) je na střeše E.

U této varianty je velmi mírně severní a západní směr stíněný krajem budov FEI a E a také tyto budovy stíní směry východní a jižní. Dle požadovaného směru vysílání (azimut 320°) je anténa opět natočená severozápadním směrem a hlavní lalok vyzařovacího diagramu tímto směrem také vyzařuje.

U této varianty se jako výhoda může jevit ukotvení třech bodu na jedné ze dvou budov a jednodušší realizace natažení antény do výše 15 m od země.

Z leteckého snímku lze vidět určitou nevýhodu u této varianty, a to vzdálenost celé konstrukce od budovy NK. Při takto zvoleném umístění by byla potřeba natáhnout dlouhé napáječe směrem k vysílači do radioklubu. Ručním měřením na mapě bylo zjištěno, že by se jednalo o vzdálenost téměř 44 až 58 m.



Obrázek 5.5: Varianta D

Tabulka 4.1: Srovnání jednotlivých variant

	Dostupný/volný azimut	Délka napáječů [m]	Délka kotev [m]	Problém s kotvením	Poznámky
Varianta A	ANO	20, 30	20, 20, 28, 29	NE	Vzdálenější od radioklubu
Varianta B	ANO	21, 23	12, 23, 27, 43	NE	V blízkosti radioklubu
Varianta C	NE	25, 34	12, 13, 13, 17	NE	Velmi blízko budov
Varianta D	ANO	44, 58	14, 15, 35, 36	ANO	Bude zavazet – před budovou FEI se konají různé akce

Jako nejvhodnější možnost pro umístění anténní soustavy se jeví varianta B. Již v minulosti zde byla natažena drátová anténa mezi budovami NK a E. Na střeše NK bude využit již jeden kotvicí bod. V programu 4NEC2 je následně provedena simulace celé anténní soustavy (viz. níže).

5.3 Výpočet elektrické délky antény a kotvicích prvků vybrané varianty

Při výrobě drátové antény v pásmu krátkých vln (KV) se vycházelo z požadavků radioklubu. Návrh antény je vícepásmová s možným vysíláním v pásmu 3,6 MHz, 7,05 MHz, 14,05 MHz a 21,05 MHz. Pro zadané kmitočty jsou vypočítány základní parametry podle následujících vztahů pro potřeby simulace antény. Délka antény musí odpovídat příslušné vlnové délce a ta je nepřímo úměrná kmitočtu.

Po dosazení kmitočtu f a rychlosti světla c jsou pro čtvercovou anténu vypočteny následné vlnové délky $\lambda_1 = 78,9$ m, $\lambda_2 = 42,5$ m, $\lambda_3 = 21,4$ m, $\lambda_4 = 14,3$ m. Jak už bylo v kapitole 4 uvedeno, princip čtvercové antény vychází ze způsobu, kdy její délka na vyšších harmonických pásmech (42,5, 21,4, 14,3 m) je celistvým násobkem základní vlnové délky na pásmu nejnižší, v tomto případě na 78,9 m. Proto při návrhu byla zvolena délka čtvercové antény $4 \cdot a$, kde $a = 20$ m. Pro zjištění přesné

délky je potřeba optimalizovat anténu v simulačním programu 4NEC2. Po skončení simulace a optimalizace byla na základě programu vypočtena celá délka antény na 81,6 m.

Při návrhu drátové antény po uhlopříčce se vycházelo z již známe W3DZZ, která taktéž byla popsána v kapitole 4. Podmínkou pro vymezení půlvlnného úseku l_1 mezi trapy je, aby filtr L_1C_1 byl vyladěný na kmitočet f_1 . Pro návrh této drátové antény je základní úsek l_1 dimenzovaný dvojicí filtrů LC s naladěným kmitočtem $f_1 = 7,05$ MHz.

Podle následujícího matematického vztahu lze s pomocí zvolené kapacity C a frekvencí f_1 doladit trapy.

$$L_{[\mu H]} = \frac{25330}{C \cdot f^2} [7] \quad (5.1)$$

L – indukčnost [μH]

C – kapacita [pF]

f_1 – frekvence pro půlvlnný úsek [MHz]

Při $C = 60$ pF a $f_1 = 7,05$ MHz je výpočet následující.

$$L = \frac{25330}{C \cdot f^2} = \frac{25330}{60 \cdot 7,05^2} = \frac{25330}{60 \cdot 49,7025} = \frac{25330}{2982,15} = 8,493 = 8,5 \mu H \quad (5.2)$$

Počet závitů cívky se vypočítá podle vzorce.

$$N = \sqrt{\frac{L(9 \cdot r + 10 \cdot d)}{0,3937 \cdot r^2}} [7] \quad (5.3)$$

r – poloměr cívky

d – délka vinutí [cm]

N – počet závitů [-]

Při výpočtu tahových sil anténní soustavy je nutno započítat hmotnost veškerých komponentů.

- Vázací drát 0,013 kg/celek
- Kotevní lano 0,9 kg/celek
- Napáječe 4 kg
- Balun 0,412 kg
- Trapy 0,312 kg/2ks
- Izolátory 0,198 kg/6ks

Předpokládaná hmotnost anténní soustavy je 5,8 kg.

V následujícím textu je uveden postup výpočtu tahových sil:

Rovnováhu sil lze vyjádřit následovně:

$$M_v = M_h [1] \quad (5.4)$$

$$F_v \cdot \frac{a}{4} = F_h \cdot f_{max} [1] \quad (5.5)$$

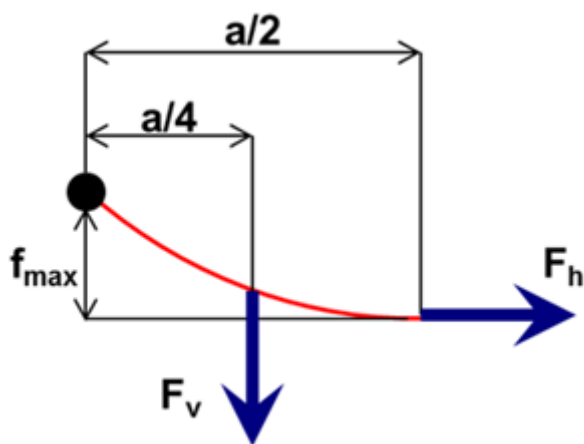
Princip odvození – momentová rovnováha sil.

F_v = vertikální síla

Vertikální síla je dána hmotností (měrnou hmotností) vodiče

F_h = horizontální síla udržuje vodič v rovnovážné poloze

Horizontální síla je dána dovoleným vodorovným namáháním vodiče σ_h



Obrázek 5.6: Odvození maximálního průhybu

Vertikální sílu lze vyjádřit:

$$F_v = \gamma \cdot \frac{a}{2} \quad (5.6)$$

Kde γ je měrná hmotnost vodiče [N/m^3]

Horizontální sílu lze vyjádřit:

$$F_h = \sigma_h \quad (5.7)$$

Kde σ je dovolené vodorovné namáhání vodiče [N/m^2]

Po úpravě:

$$M_v = M_h \quad (5.8)$$

$$F_v \cdot \frac{a}{4} = F_h \cdot f_{\max} \quad (5.9)$$

$$\sigma_h \cdot f_{\max} = \gamma \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{4} \quad (5.10)$$

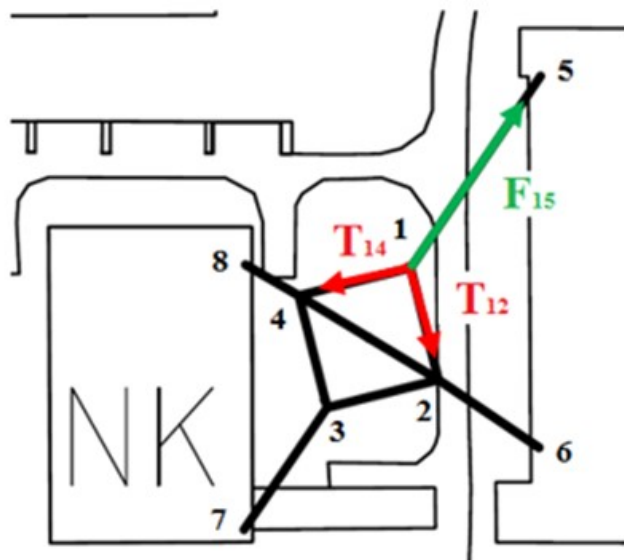
$$f_{\max} = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_h} \quad [\text{m}; \text{m}^2, \text{N/m}^3, \text{N/m}^2] \quad (5.11)$$

Při výpočtu se musí uvažovat zvětšená hmotnost vodiče vlivem námrazku.

$$f_{max} = \frac{a^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_h} [m; m^2, N/m^3, N/m^2] \quad (5.12)$$

$$\text{Napětí v anténě: } \sigma = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot f} = \frac{a^2 \cdot g \cdot \rho}{8 \cdot f}$$

$$\text{Tahová síla v anténě: } T = S\sigma = \frac{a^2 \cdot g \cdot S\rho}{8 \cdot f} = \frac{a^2 \cdot g \cdot \mu}{8 \cdot f}, \text{ kde } \mu \text{ je hmotnost na jednotku délky lana.}$$



Obrázek 5.7: Výpočet tahových sil

Odhad napětí a tahové síly na anténě: Při $a = 20,4$ m, průhyb uprostřed $f = 0,1$ m, $\mu_h = 0,013$ kg/m.

$$T = S\sigma = \frac{a^2 \cdot g \cdot S\rho}{8 \cdot f} = \frac{a^2 \cdot g \cdot \mu \cdot z}{8 \cdot f} = \frac{20,4^2 \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot 2,56}{8 \cdot 0,1} = 169,8 \text{ N}$$

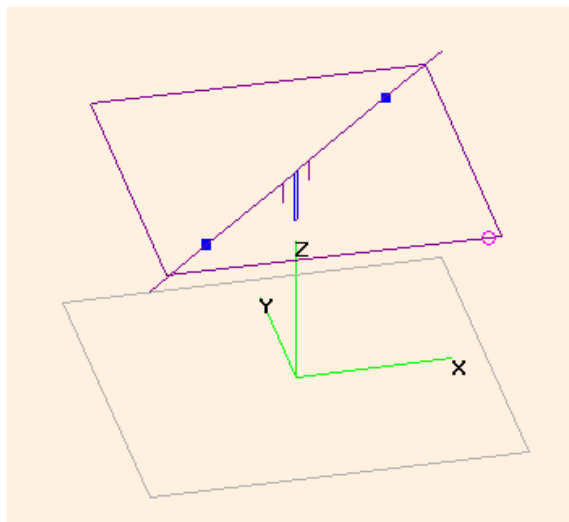
Pro jednoduchý případ na obrázku 5.7 jsou všechny síly T stejné a všechny síly F stejné, platí $F = 2T \cos \frac{\pi}{4} = T\sqrt{2} = 240$ N.

Tahová síla na anténě i s vlivem námrazku je 16,98 kg. Při započítání celkové hmotnosti anténní soustavy 5,8 kg se tahová síla zvýší na 22,78 kg.

Tahová síla kotevních lan i při započítání celkové hmotnosti anténní soustavy a námrazku je 32,2 kg. Je nutné podotknout, že tahová síla kotevního lana F_{26} dle obrázku 5.7 bude mírně větší, jelikož je zde upevněna anténa W3DZZ, která je natažená po úhlopříčce.

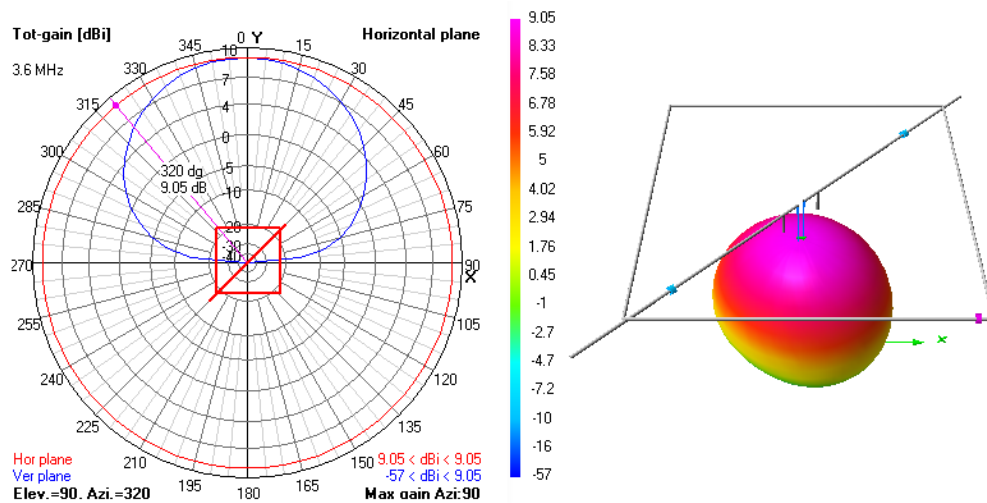
5.4 Simulace anténní soustavy v programu 4NEC2

Po zjištění teoretických délek antén byly provedeny simulace v programu 4NEC2. Počáteční podmínky byly nastaveny následovně. Zemní rovina nastavena na volný prostor a materiál vodičů na ocel. Jako první jsou zde uvedeny snímky ze simulací vícepásmové čtvercové antény a potom následuje anténa typu W3DZZ. Na obr. 5.8 lze vidět návrh čtvercové antény s diagonální W3DZZ anténou.



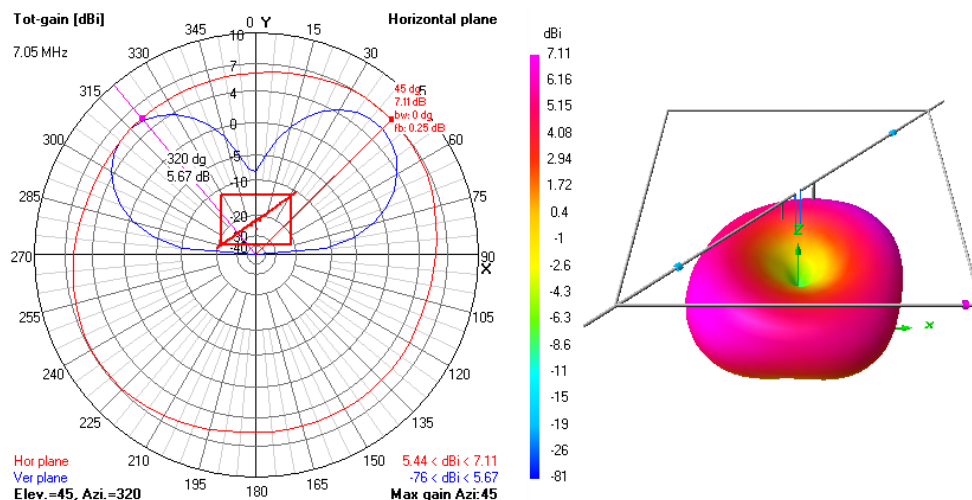
Obrázek 5.8: *Návrh anténní soustavy v programu 4NEC2*

Při kmitočtu 3,5 MHz u čtvercové antény lze na obr. 5.9 vidět charakteristiku vyzařování v horizontální i vertikální rovině. Celková vyzařovací charakteristika v prostoru je všesměrová. Anténa na tomto kmitočtu dosahuje zisku 8,81 dBi. Hodnoty okolo celé kružnice určují směr záření ve stupních a hodnoty, které směřují ke středu kružnice, značí zisk antény v decibelech. Ve 3D charakteristice je anténa pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



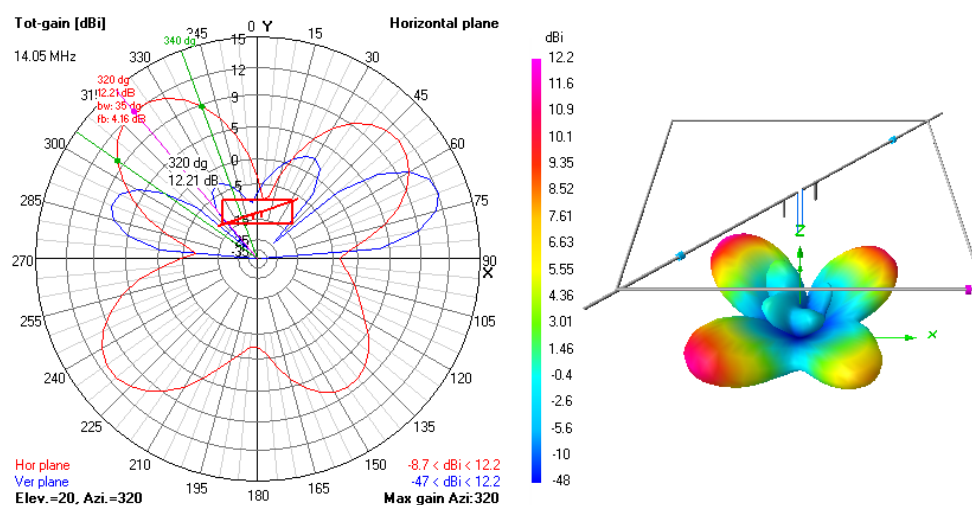
Obrázek 5.9: *Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) čtvercové antény ve výšce 15 m při $f = 3,6$ MHz*

Obrázek 5.10 zobrazuje simulaci antény při kmitočtu 7,05 MHz. Z charakteristiky lze usoudit, že v horizontální rovině je prakticky všesměrová od elevace 45°. Maximální zisk antény na tomto kmitočtu dosahuje hodnoty 7,11 dBi. Při azimutu 320° je zisk 5,67 dBi. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



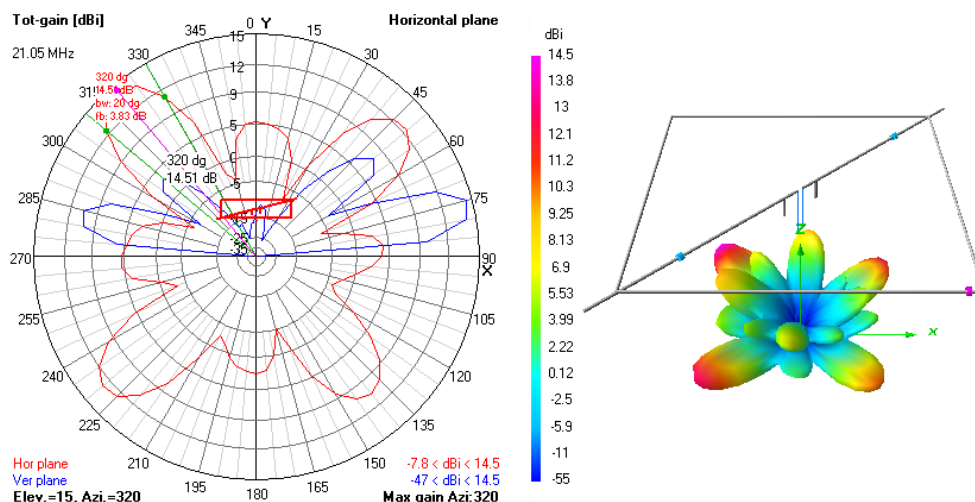
Obrázek 5.10: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) čtvercové antény ve výšce 15 m při $f = 7,05$ MHz

Na obrázku 5.11 je zobrazena charakteristika při kmitočtu 14,05 MHz. Ve druhém kvadrantu je zobrazen hlavní lalok antény, který určuje požadovaný směr vysílání. Po bocích jsou zobrazeny postranní laloky. Zisk antény na dané frekvenci je 12,21 dBi a úhel vyzařování činí 20°. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



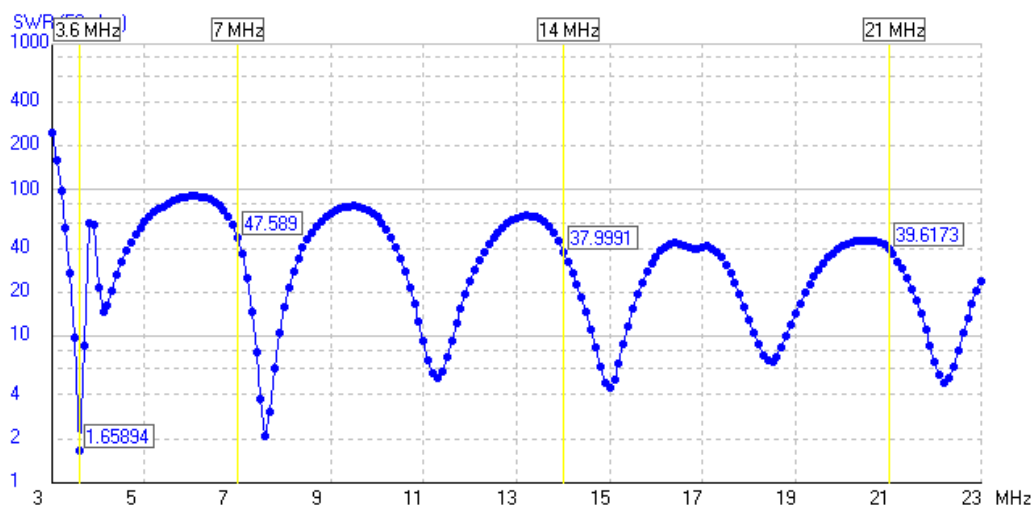
Obrázek 5.11: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) čtvercové antény ve výšce 15 m při $f = 14,05$ MHz

Obrázek 5.12 zobrazuje nasimulovanou charakteristiku na frekvenci 21,05 MHz. Azimut hlavního laloku je 320°. Na tomto kmitočtu je mnoho postranních laloků. Zisk antény na této frekvenci dosahuje hodnoty 14,51 dBi při vyzařovacím úhlu 15°. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



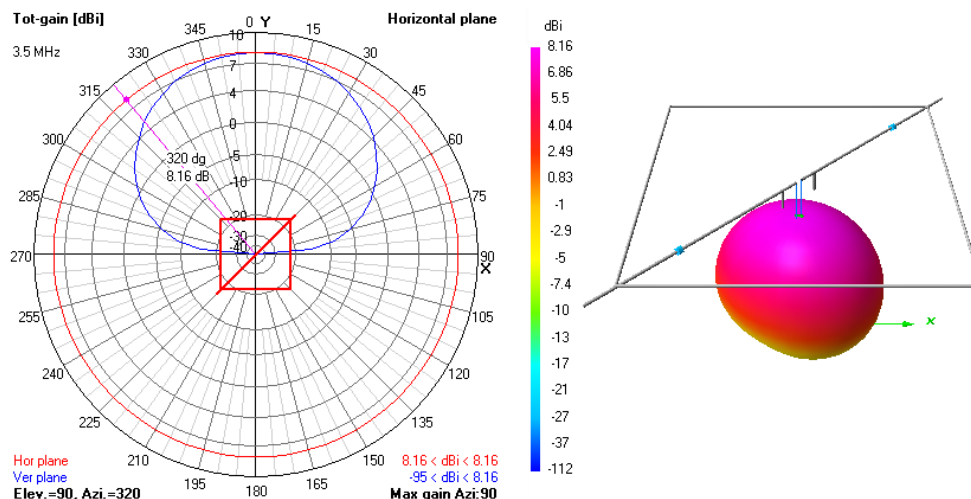
Obrázek 5.12: Vyzářovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) čtvercové antény ve výšce 15 m při $f = 21,05 \text{ MHz}$

Poměr stojatých vln PSV je zobrazen na obrázku 5.13. Jak lze vidět, na kmitočtu 3,6 MHz dosahuje PSV 1,66. Hodnota PSV při kmitočtu 7 MHz je 47,59. Na vyšších kmitočtových pásmech je PSV velmi vysoké a hodnoty se pohybují mezi 37 a 39. Z tohoto důvodu bude čtvercová anténa používána pouze na frekvenci 3,6 MHz.



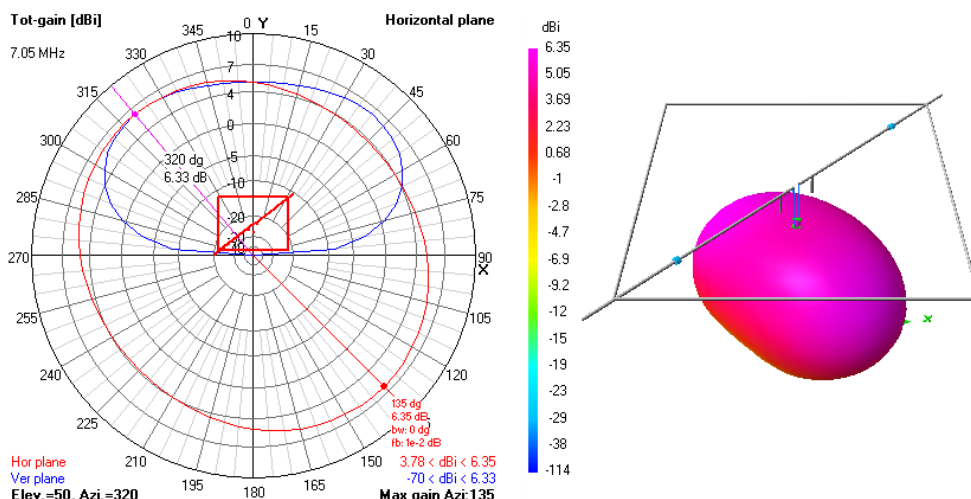
Obrázek 5.13: Závislost poměru stojatých vln PSV na frekvenci u čtvercové antény

Od obrázku 5.14 až po obrázek 5.18 je již simulace diagonální antény typu W3DZZ. Snímky zobrazují nasimulované charakteristiky taktéž v horizontální i vertikální rovině při 3,5 MHz, 7,05 MHz, 14,05 MHz a 21,05 MHz. První obrázek zobrazuje charakteristiku na frekvenci 3,5 MHz. Celková vyzářovací charakteristika v prostoru je všesměrová, podobná jako u čtvercové antény. Anténa na tomto kmitočtu dosahuje zisku 8,16 dBi ve všech směrech záření. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



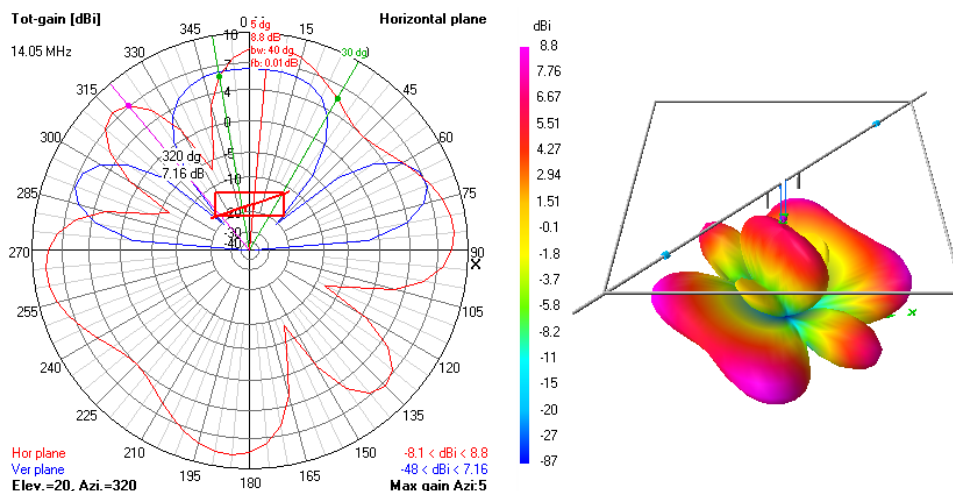
Obrázek 5.14: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) W3DZZ antény ve výšce 15 m při $f = 3,5$ MHz

Na obrázku 5.15 je zobrazena charakteristika na frekvenci 7,05 MHz. Při azimutu 320° je zisk antény na dané frekvenci 6,34 dBi a úhel vyzařování je 50°. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



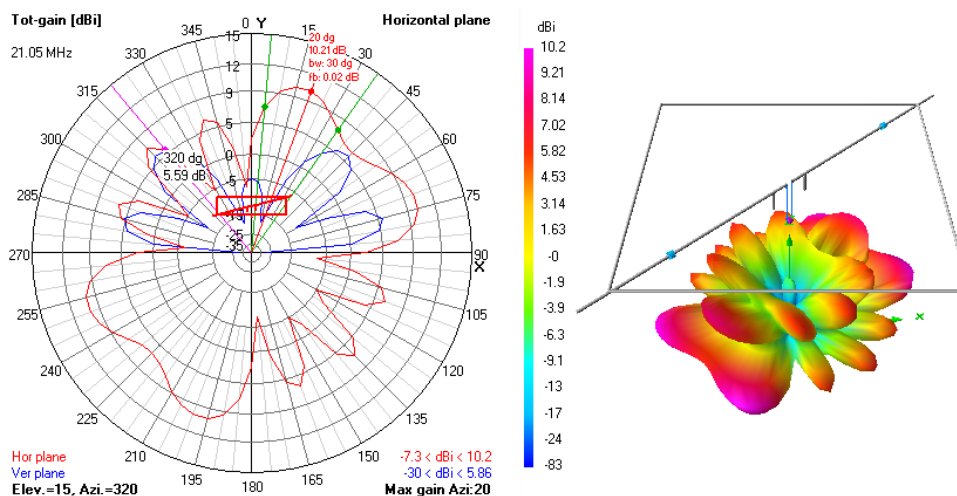
Obrázek 5.15: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) W3DZZ antény ve výšce 15 m při $f = 7,05$ MHz

Na obrázku 5.16 je znázorněna charakteristika antény při kmitočtu 14,05 MHz. Tvar charakteristiky mírně připomíná motýla. Azimut hlavního laloku je na 315°. Zisk antény při azimutu 320° je na dané frekvenci 7,16 dBi. Úhel vyzařování činí 20°. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



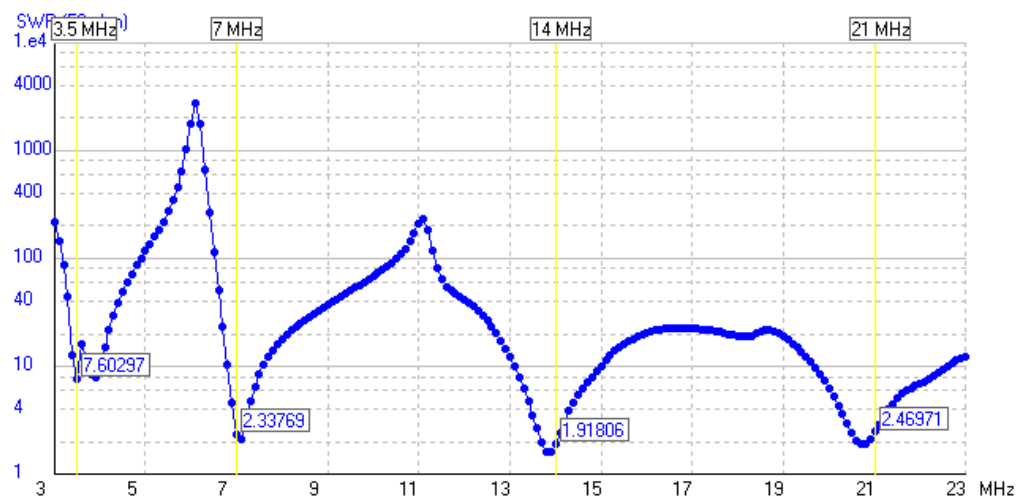
Obrázek 5.16: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) W3DZZ antény ve výšce 15 m při $f = 14,05$ MHz

Na posledním obrázku 5.17 je znázorněna charakteristika antény při kmitočtu 21,05 MHz. Tvar charakteristiky opět mírně připomíná motýla. Azimut hlavního laloku je na 315°. Zisk antény při azimutu 320° je na dané frekvenci 5,59 dBi při vyzařovacím úhlu 15°. U postranních laloků (azimut 20°, 75°, 200°, 250°) je zisk poměrně větší. Úhel vyzařování 15°. Ve 3D charakteristice je anténa opět pootočená do požadovaného směru (severozápadní směr, azimut 320°).



Obrázek 5.17: Vyzařovací charakteristika v horizontální (červeně) a vertikální (modře) rovině (vlevo); 3D charakteristika (vpravo) W3DZZ antény ve výšce 15 m při $f = 21,05$ MHz

Poměr stojatých vln antény W3DZZ je zobrazen na obrázku 5.18. Ze snímku lze vidět, že na kmitočtu 3,5 MHz a 7 MHz dosahuje PSV konkrétně 7,6 a 2,33. Oproti tomu na vyšším kmitočtovém pásmu 14 MHz je PSV 1,92. Na kmitočtu 21 MHz je PSV 2,47.



Obrázek 5.18: Závislost poměru stojatých vln PSV na frekvenci u W3DZZ

Tabulka 4.2: Sumarizační tabulka čtvercové antény

Čtvercová anténa	Kmitočet [MHz]	Zisk [dBi]	Azimut [°]	Počet laloků [-]	PSV [-]
	3,6	9,05	320	1	1,66
	7,05	5,67	320	1	47,6
	14,05	12,21	320	4	37,9
	21,05	14,51	320	8	39,6

Tabulka 4.3: Sumarizační tabulka antény W3DZZ

W3DZZ	Kmitočet [MHz]	Zisk [dBi]	Azimut [°]	Počet laloků [-]	PSV [-]
	3,5	8,16	320	1	7,6
	7,05	6,33	320	1	2,34
	14,05	7,16	320	4	1,92
	21,05	5,99	320	8	2,47

6 Konstrukce anténní soustavy

Tato kapitola se věnuje konstrukci celé anténní soustavy. Prvně byla vyrobena konstrukce, která slouží jako kotvící bod na střeše NK a její rozměry jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci. Na střeše E byly vyrobeny další dva kotevní body. Dále byly vyrobeny středové díly pro obě antény. Jsou vyrobeny z nerez a elektroinstalační krabice.



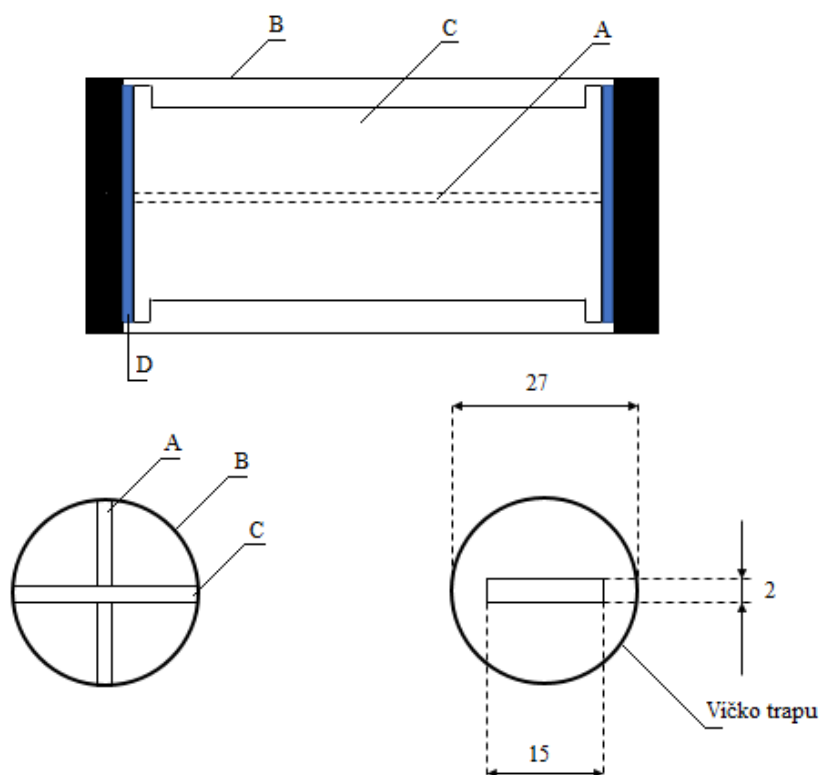
Obrázek 6.1: *Konstrukce*



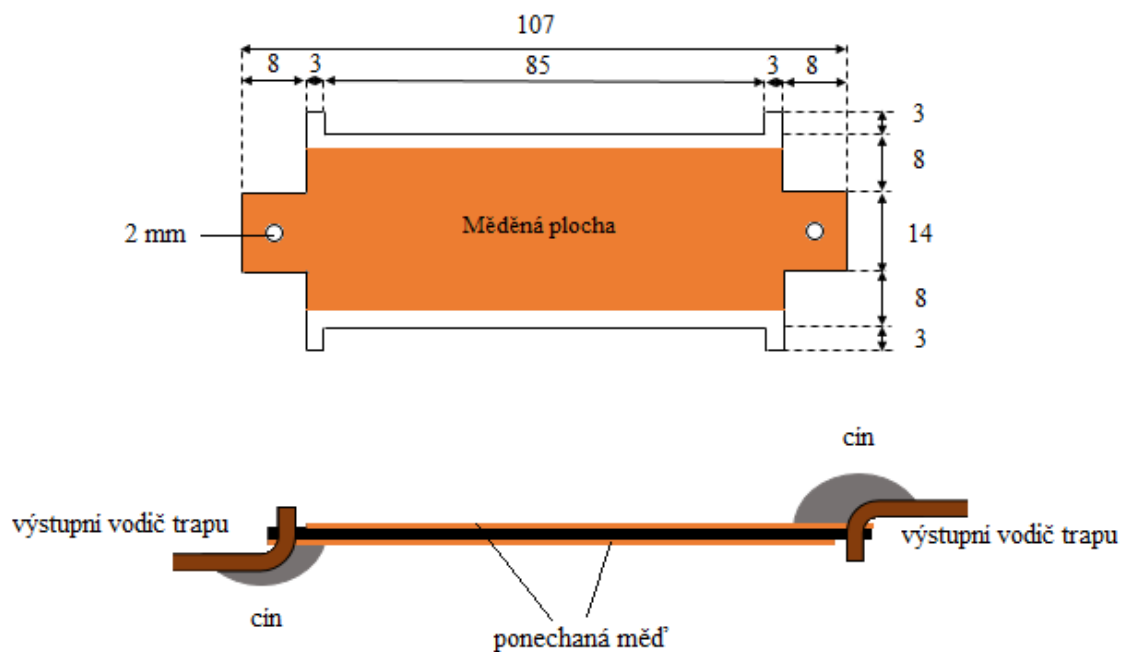
Obrázek 6.2: *Středové díly*

Z vázacího drátu byly střiženy jednotlivé úseky délek čtvercové a W3DZZ antény. U W3DZZ antény byla nutná výroba dvou trapů, které jsou složeny z kondenzátorů a cívek. Na obrázku 6.3 je znázorněna sestava trapu, která je složena z několika dílů. Oba kondenzátory jsou vyrobeny ze dvou dílů C a A, které jsou k sobě připájeny a tvoří tak obvodovou kapacitu. Následně byly změřeny LCR

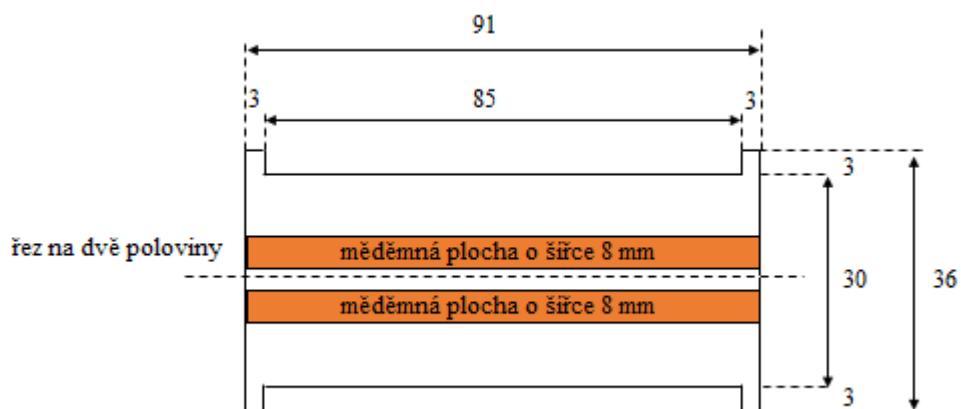
metrem ELC-3131 D. V prvním měření byla naměřena hodnota 98 pF a 101 pF. Postupným odebráním měděné plošky z dílu C, se snižovala kapacita až na požadovanou hodnotu 68 pF. Takto vyrobené kondenzátory tvoří kostru trapu, na kterém je navinuta cívka o průměru 1,5 mm. Z počátku bylo na kostru navinuto cca 30 závitů. Při opakovaném měření anténním analyzátozem MFJ-269 byly jednotlivé závity postupně odebrány. Jemné doladování bylo provedeno roztahováním závitů cívky. Nakonec byly závity zafixovány tavnou pistolí k sobě, aby nedocházelo k rozladění trapu. Hotové trapy byly naladěny na kmitočet 7,05 MHz.



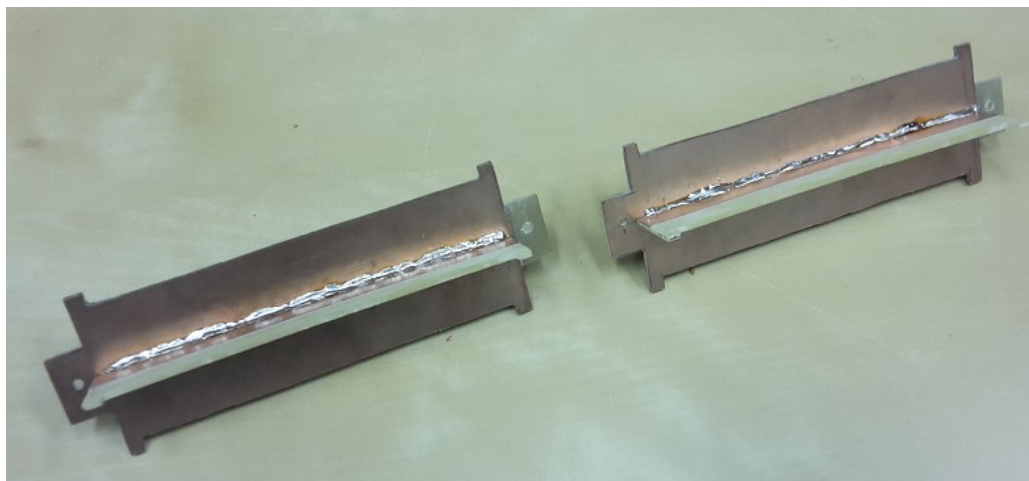
Obrázek 6.3: Sestava trapu antény W3DZZ [10]



Obrázek 6.4: Díl „C“



Obrázek 6.5: Díl „A“



Obrázek 6.6: Kostra kondenzátorů



Obrázek 6.7: *Trap*

Hotové trapy jsou následně umístěny do plastového tubusu (díl „B“). Na obou koncích tubusu jsou vložena víčka a veškeré díry kolem i ve středu byly zadělány tavnou pistolí a poté také hydroizolačním silikonem. V další kroku byl celý tubus připevněn pomocí plastových stahovacích pásek. Výstupní vodiče z trapu jsou připojeny ke dvou šroubům.

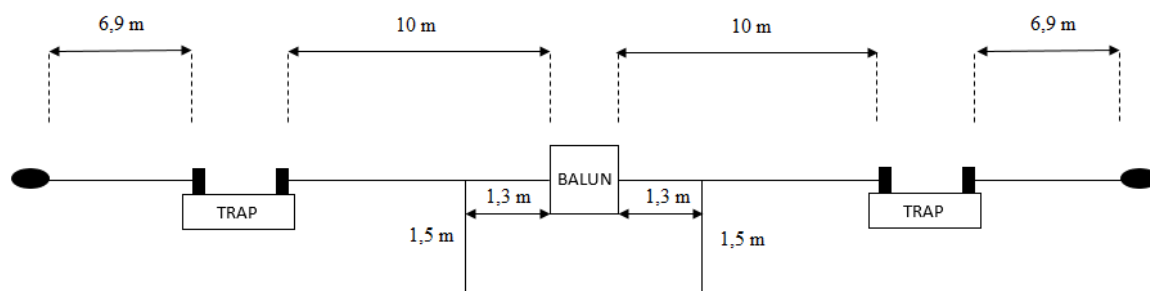


Obrázek 6.8: *Trapy v plastovém tubusu*



Obrázek 6.9: *Hotové trapy*

Hotové trapy byly připojeny a anténa W3DZZ byla zkonstruována. Na obou koncích antény jsou připevněny izolátory. Lze si povšimnout dvou 1,5 m dlouhých drátů zavěšené volně směrem dolů poblíž středového dílu. Z literatury a při simulacích bylo zjištěno, že tato menší modifikace zlepší parametr PSV na třech nejvyšších pásmech.



Obrázek 6.10: Konstrukce antény W3DZZ

Pro připojení koaxiálního kabelu RG213U k W3DZZ anténě bylo nutné vyrobit proudový balun. Na výrobu balunu byl použit nízkoútlumový koaxiální kabel AIRCELL 7 a železoprachový toroid AMIDON, na kterém jsou 2x4 závity.



Obrázek 6.11: Proudový balun 1:1 [11]

Anténa W3DZZ byla přichystaná. V dalším kroku následovala příprava symetrického napáječe pro čtvercovou anténu. Jelikož nebyla možnost připojit anténní svorky přímo ke svorkám vysílače, je v tomto případě nejsnazší řešení přivedení impedance antény až do potřebného místa, v našem případě přímo do radioklubu. Pokud tedy zapojíme dva anténní napáječe do série, vznikne napáječ, který ve své první polovině elektrické délky transformuje charakteristickou impedanci Z_1 na Z_2 a ve druhé polovině transformuje zpět ze Z_2 na Z_1 . Jedná se o půlvlnný opakovací a přenáší hodnotu impedance ze

vstupu na výstup. Pro čtvercovou anténu je takto vyroben půlvlnný opakovač z dvoulinky (standard v USA 450 Ω). Její šířka je 23 mm, rozteč vodičů je 21 mm, vodiče jsou z mědi s průměrem 1 mm a její izolace je z polyethylenu. Zkracovací činitel je 0,9. Pro kmitočet $f = 3,67$ MHz je vlnová délka 81,74 m. Při započítání zkracovacího činitele $\frac{\lambda}{2} \cdot 0,9$ je délka půlvlnného opakovače 36,78 m.

Ještě před samotnou instalací anténní soustavy byly napáječe v radioklubu nachystány. V den instalace byl středový díl připojen k W3DZZ anténě a spolu s napáječem spuštěn dolů na zem z radioklubu. Dále následovalo připojení druhého středového dílu ke čtvercové anténě a spolu se symetrickým napáječem byla anténa opět spuštěna dolu na zem. Na zemi se čtvercová anténa roztáhla do svojí podoby. Ze střech NK a E byly spuštěny kotvící lana, ke kterým byla připojena přes izolátory čtvercová anténa. V dalším kroku se připojila již na zemi nachystaná anténa W3DZZ a připevnila se z jedné strany přes izolátor k jednomu kotvícímu lanu a z druhé strany se upevnila k dalšímu, již samotnému kotvícímu lanu. Takto připravena celá anténní soustava byla pomalu vyzvedávána do výšky 15 m a koordinace ukotvení do finální podoby probíhala přes PMR vysílačky. Při kotvení se lana na střeše E dotýkala hromosvodu i hrany budovy a časem by docházelo k odření a poškození. Tudíž byla předem vyrobena speciální chránička.



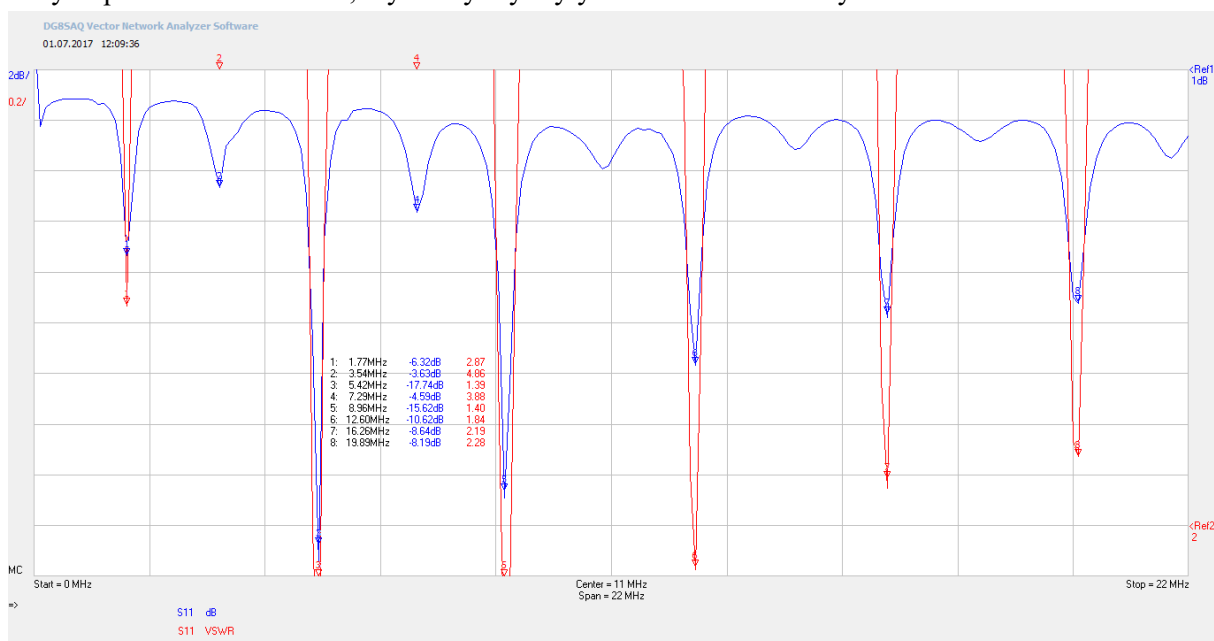
Obrázek 6.12: *Chránička na lano*



Obrázek 6.13: *Kotvení č.2*

7 Ověření správnosti návrhu a konstrukce měřením

Měření anténní soustavy bylo prováděno na vektorovém analyzátoru VNA (Vector Network Analyzer) typového označení DG8SAQ. Analyzátor je vhodný pro měření vstupních odrazových parametrů. Lze s ním měřit v pásmu od 1 kHz do 1,3 GHz a jeho připojení je pomocí USB kabelu k počítači s operačním systémem Windows, kde je nutné mít nainstalovaný příslušný program. Ještě před samotným měřením a připojením antén k analyzátoru, bylo nutné vyrobit balun k symetrickému napájecí a montáž konektoru ke koaxiálnímu kabelu. Naměřeny byly parametry S_{11} a PSV v pásmu 3 až 22 MHz. Před samotným měřením je nutné vždy provést kalibraci přístroje. Nejdříve se kalibrace provádí na prázdko, na krátko a v posledním kroku se zatížením. Pokud by před měřením nebyla provedena kalibrace, výsledky by byly zkreslené. První byla změřena čtvercová anténa.

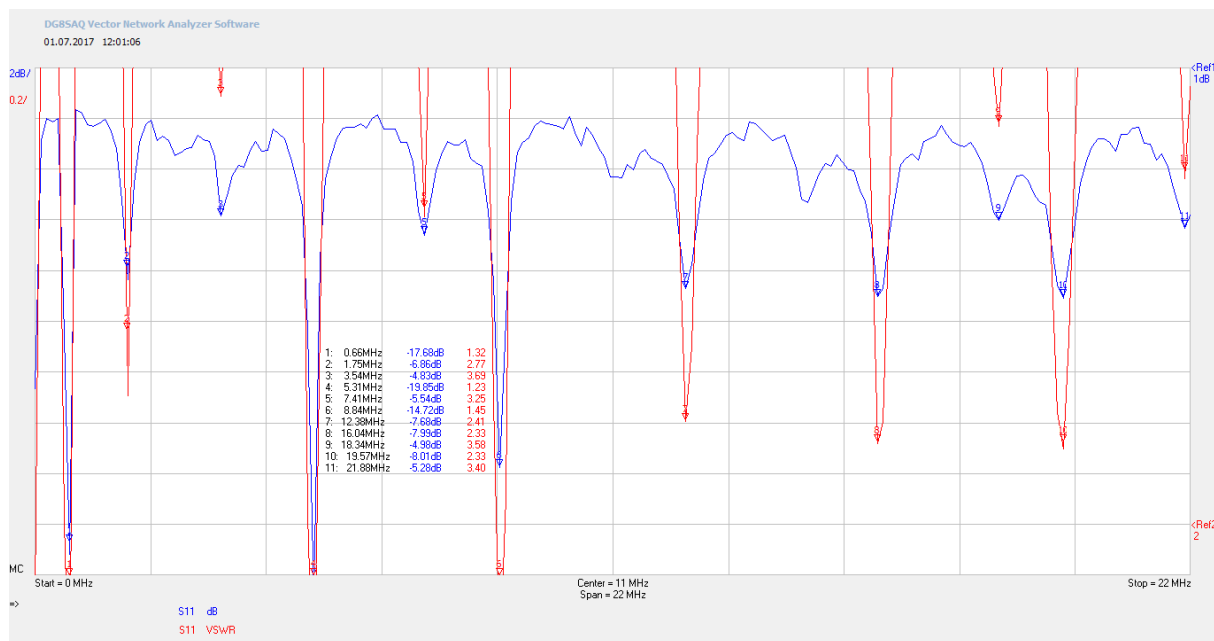


Obrázek 7.1: Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV čtvercové antény

Z charakteristiky lze vidět, že čtvercová anténa rezonuje na více kmitočtech. Z požadavku radioklubu jsou nejdůležitější kmitočty 3,6 MHz, 7,05 MHz, 14,05 MHz a 21,05 MHz. Ve výsledku jsou kmitočty posunuty, kde anténa rezonuje již od 1,77 MHz a na kmitočtu 3,54 MHz je PSV 4,86. Bylo proto nutné anténní soustavu spustit na zem a postupným zkracováním čtvercovou anténu co nejlépe přizpůsobit.

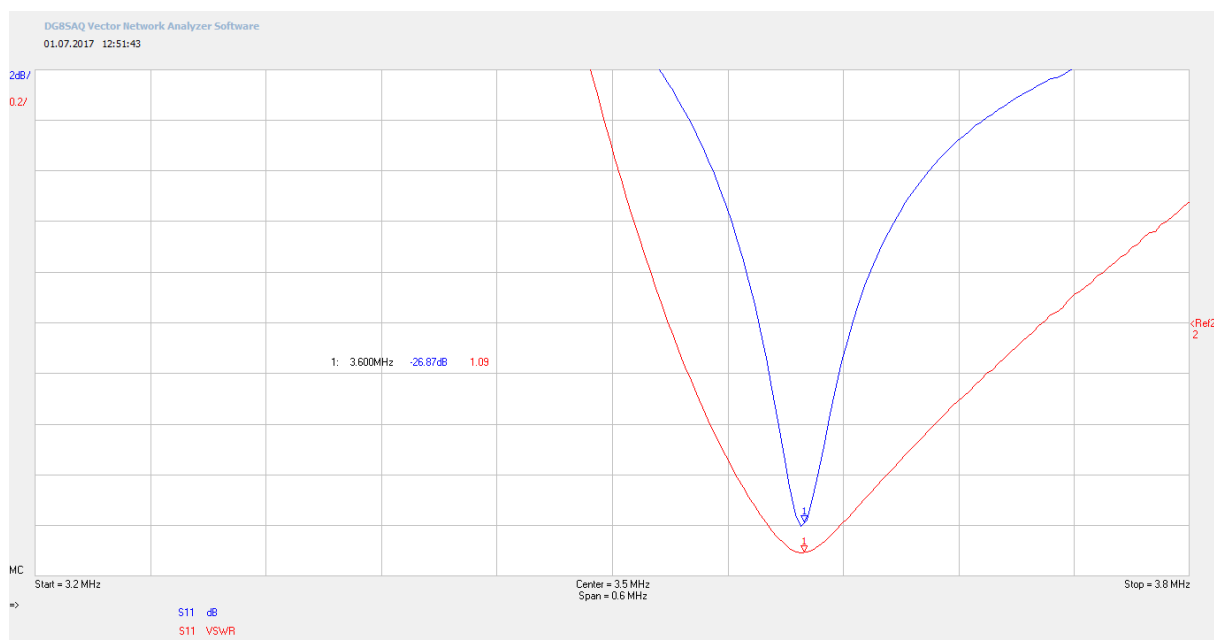
Výsledná charakteristika je znázorněna na obrázku 7.2 a také v příloze A. Čtvercová anténa je použitelná na kmitočtu 3,54 MHz s PSV 3,69. Zhoršené vlastnosti antény jsou dané okolními budovami a odrazy. Dále se nepřesnost projevila při výrobě antény, kde byla její délka mírně prodloužena z důvodů připevnění vazacího drátu nadvakrát k izolátorům. Na kmitočtu 7,41 MHz je PSV 3,25, při 12,38 MHz je PSV 2,41 a při 19,57 MHz je PSV 2,33.

Podle simulace čtvercové antény bylo při 3,6 MHz PSV 1,66. Na vyšším pásmu jsou hodnoty PSV horší. V praxi se anténa chová podobně, kromě zmiňovaného kmitočtu 3,54 MHz, kde je PSV zhoršené.

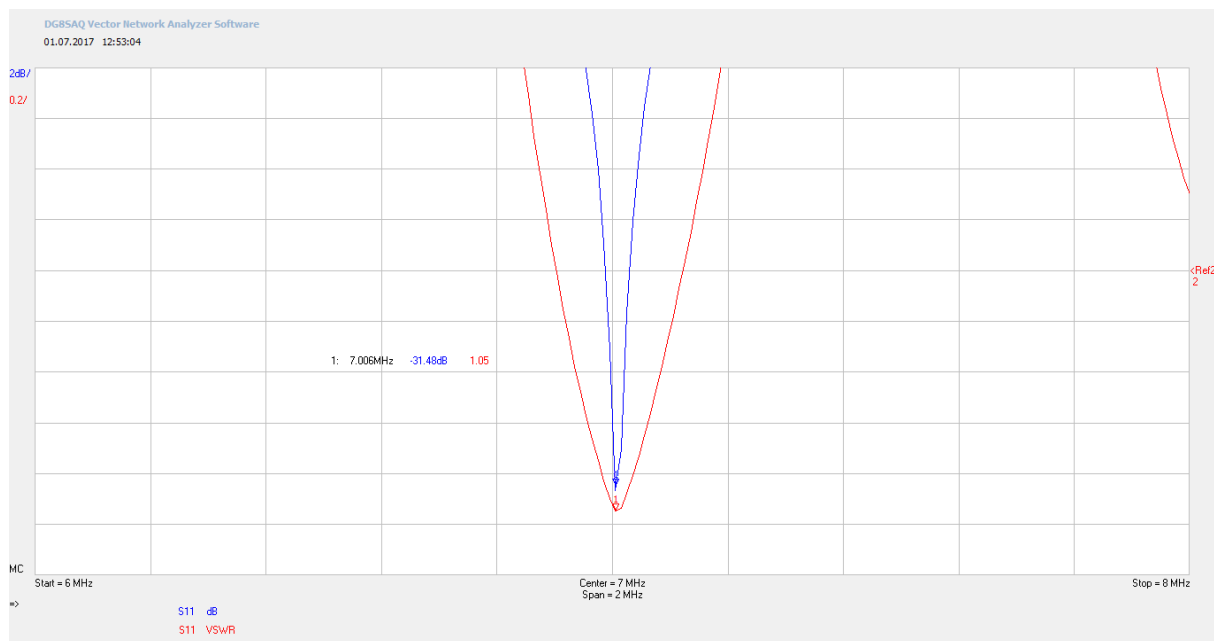


Obrázek 7.2: Charakteristika při zkrácení čtvercové antény

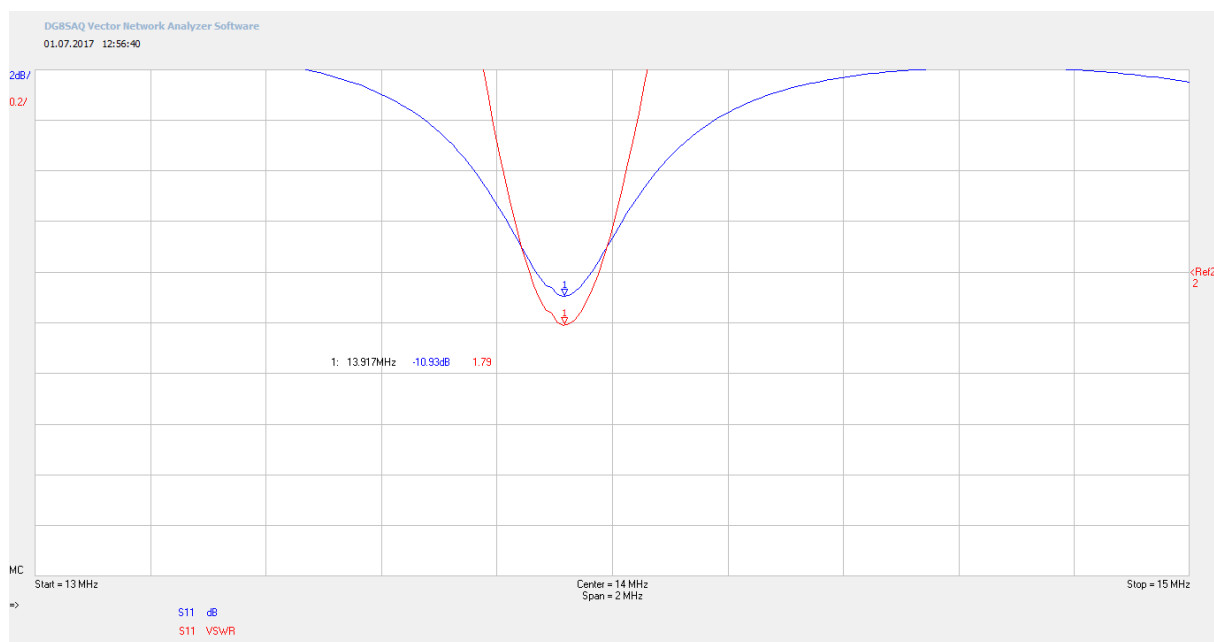
Čtvercovou anténu se podařilo lépe doladit s pomocí anténního tuneru. Na kmitočtu 3,6 MHz a 7,006 MHz se podařilo získat PSV 1,09 a 1,05. Na vyšších kmitočtech je anténa použitelná při 13,971 MHz a 21,407 MHz, kde je PSV 1,79 a 1,03.



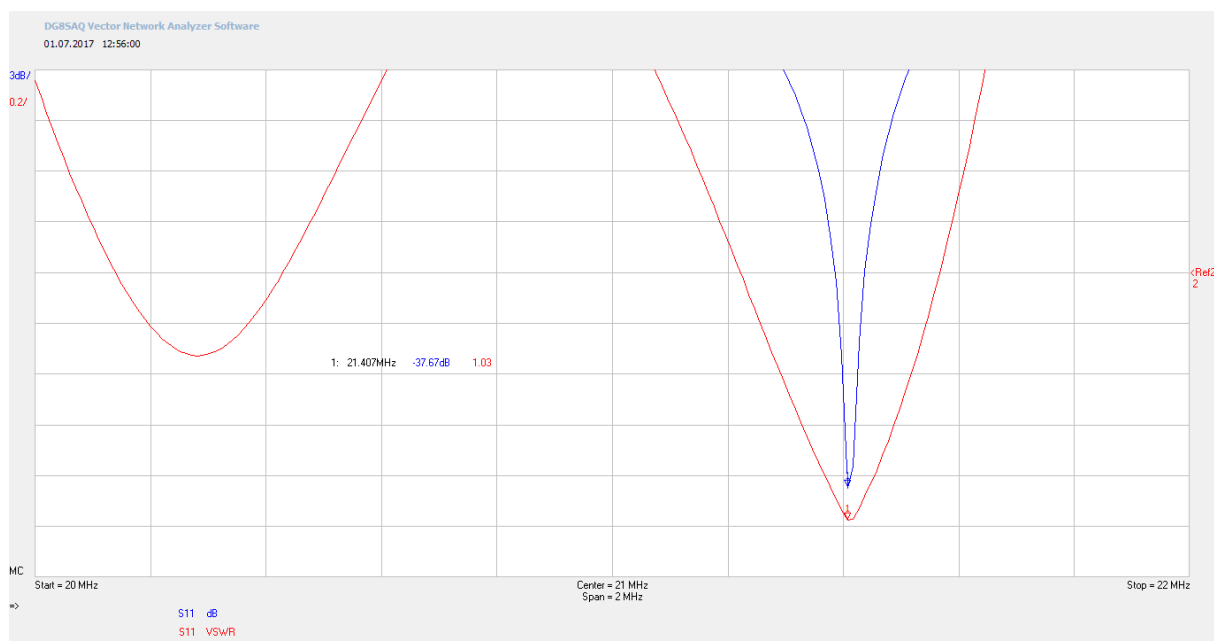
Obrázek 7.3: Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 3,6 MHz



Obrázek 7.4: *Prizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 7,006 MHz*



Obrázek 7.5: *Prizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 13,971 MHz*

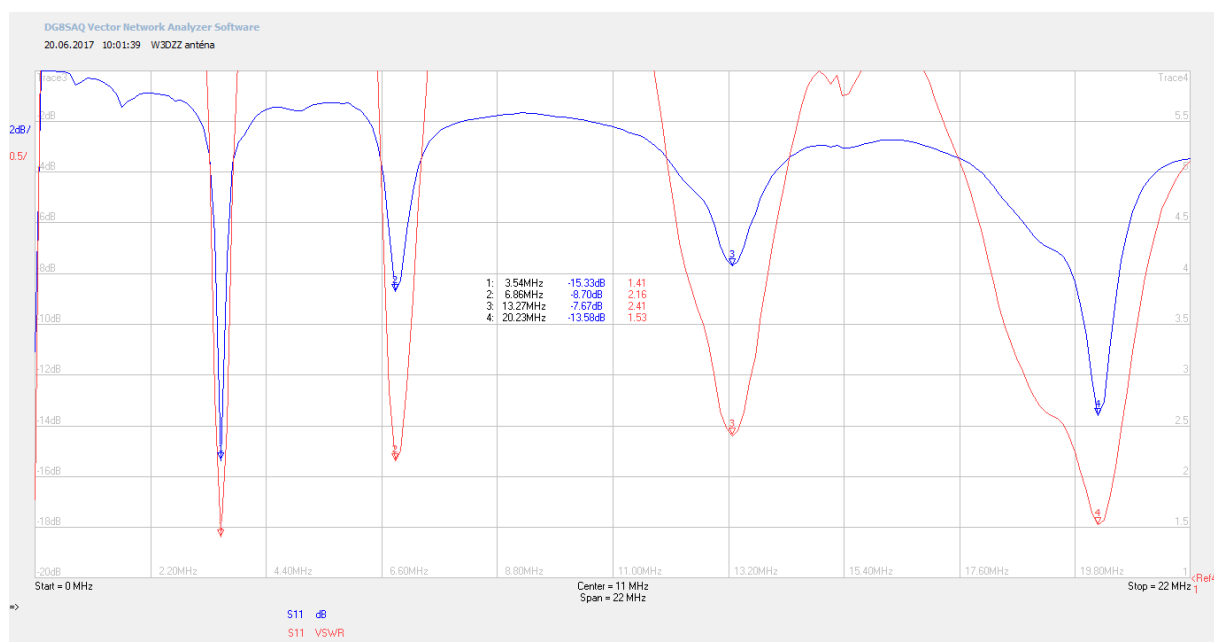


Obrázek 7.6: Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 21,407 MHz

Na obrázku 7.7 (příloha B) lze u W3DZZ antény vidět jednotlivé rezonanční kmitočty. W3DZZ anténa vykazuje nejlepší hodnoty PSV na prvním a posledním kmitočtu. PSV při 3,54 MHz je 1,41 a při 20,23 MHz 1,53. U kmitočtů 6,86 MHz a 13,27 MHz je PSV mírně horší 2,16 a 2,41.

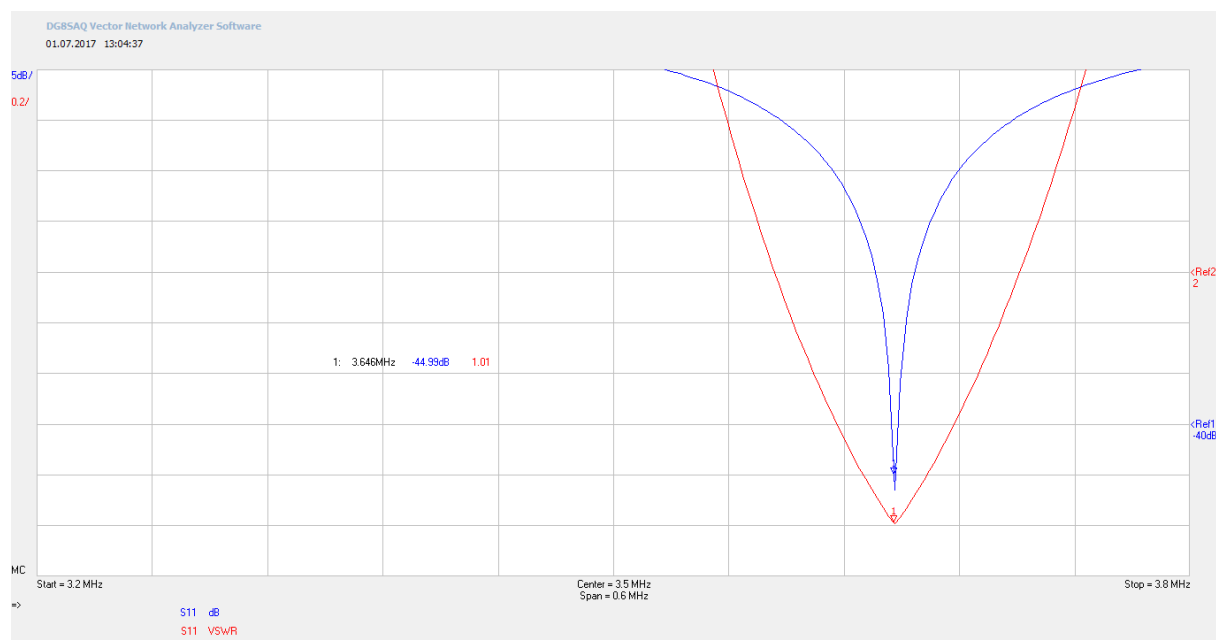
Hodnoty se poměrně liší od simulovaných výsledků, kde při 3,5 MHz je PSV 7,6. Na 14 MHz je hodnota PSV 1,92. Na 7 MHz a 21 MHz je PSV 2,34 a 2,47.

V praxi se anténa dost prověšila, jelikož je středový díl těžký. Tohle může být jeden z důvodů, proč se charakteristika liší od simulace. Další důvodem je nepřesnost antény při výrobě.

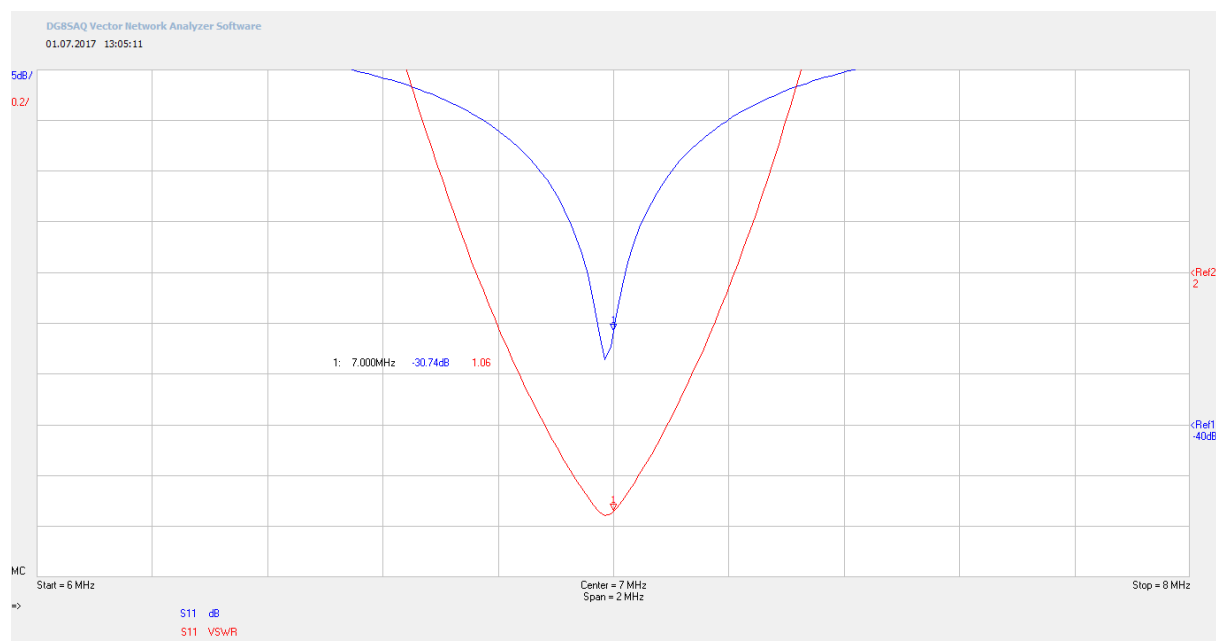


Obrázek 7.7: Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV W3DZZ

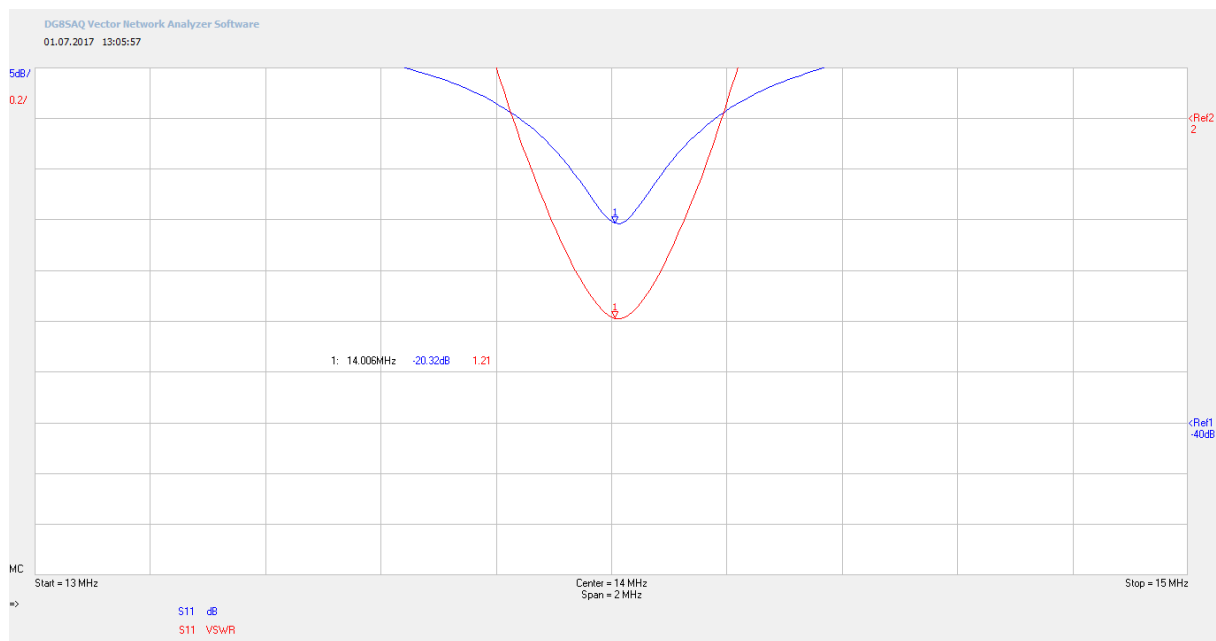
Taktéž i anténu W3DZZ se podařilo doladit s pomocí anténního tuneru a na všech pracovních kmitočtech jsou hodnoty PSV velmi dobré. Na kmitočtu 3,646 MHz a 7 MHz je PSV 1,01 a 1,06. Při 14,006 MHz a 21,015 MHz je PSV 1,21 a 1,02.



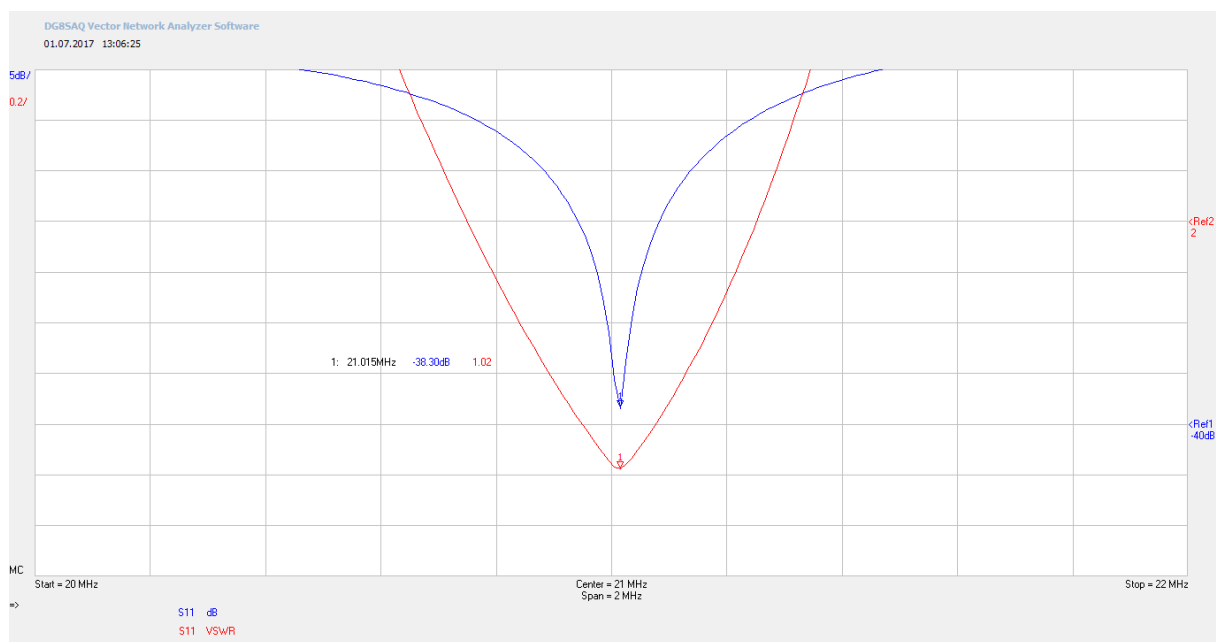
Obrázek 7.8: Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 3,646 MHz



Obrázek 7.9: Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 7 MHz



Obrázek 7.10: Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 14,006 MHz



Obrázek 7.11: Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 21,015 MHz

Závěr

Cílem diplomové práce byl popis možných variant řešení krátkovlnných antén a návržení funkční krátkovlnné drátové antény s nasazením do reálného provozu pro potřeby radioklubu OK2KQM.

Úvod práce je věnován historii radioklubu a kmitočtovému plánu používaný pro radioamatérský provoz.

Ve druhé kapitole jsou popsány základní elektrické obvodové parametry antén.

Ve třetí kapitole jsou uvedeny doplňkové obvody a příslušenství pro stavbu antény, jako jsou izolátory, anténní a nylonová lanka, napínáky, svorky, trapy apod.

Čtvrtá kapitola popisuje možné varianty jednotlivých krátkovlnných antén s praktickým řešením, jako je anténa G5RV, anténa W3DZZ, magnetická anténa MLA, vícepásmová čtvercová anténa a mnoho dalších.

Pátá kapitola se zabývá návrhem anténní soustavy. Jsou zde uvedeny celkem čtyři možné varianty umístění v prostoru, výpočty elektrických délek antén a kotvících prvků vybrané varianty a v neposlední řadě jsou provedeny veškeré simulace. Navrhovaný anténní systém vychází z principu vícepásmové čtvercové antény a antény W3DZZ.

Šestá kapitola se věnuje samotné konstrukci celé soustavy. Veškerý postup práce je fotograficky zdokumentován.

Poslední kapitola pojednává o ověření správnosti návrhu a konstrukce měření. Jsou zde přiloženy snímky z měření pomocí vektorového analyzátoru VNA se zapojením anténního tuneru i bez něj.

Souběžně s prací byla vytvořena výkresová dokumentace, která je uvedena v příloze Q. V příloženém souboru je stručný popis anténní soustavy a jejího umístění v prostoru. Dále jsou vypočítány tahové síly anténní soustavy a její celková hmotnost. Jsou zde podrobně rozkresleny jednotlivé kotvící body s obrysem obou konstrukcí, které jsou okótované. V dokumentaci je také přiložený technický výkres s kusovníkem. V závěru je předložen pracovní postup s předpokládanou dobou montáže. Při návrhu dlouhadrátové KV antény se zrodila myšlenka na konstrukci další antény pro možné potřeby radioamatérského kroužku. Vhodnou volbou byla anténa W3DZZ, která v simulacích neovlivňovala vyzařovací charakteristiku čtvercové antény. Takto navržená a analyzována anténní soustava byla následně zkonstruována. Po sestrojení bylo provedeno měření vektorovým analyzátozem VNA v radioklubu OK2KQM. Výsledky měření dokazují, že čtvercová anténa je použitelná na více kmitočtech, přičemž nejdůležitější dle požadavků radioklubu je kmitočet 3,6 MHz, kde vykazuje hodnotu PSV 3,69. Bylo nutné anténní soustavu spustit dolů na zem a čtvercovou anténu postupným zkracováním doladit. U antény W3DZZ se dostalo dobrých výsledků. Její rezonanční kmitočty jsou 3,54 MHz, 6,86 MHz, 13,27 MHz a 20,23 MHz. Výsledné průběhy jsou uvedeny v poslední kapitole. Výsledky se poměrně liší od těch simulovaných, což je dáno nepřesností konstrukcí antén i okolní zástavbou. Při zapojení anténního tuneru byly obě antény přizpůsobeny.

Hlavní předpoklad je nasazení anténní soustavy do reálného provozu pro potřeby radioklubu OK2KQM, který sídlí na Vysoké škole báňské – Technické univerzity Ostrava.

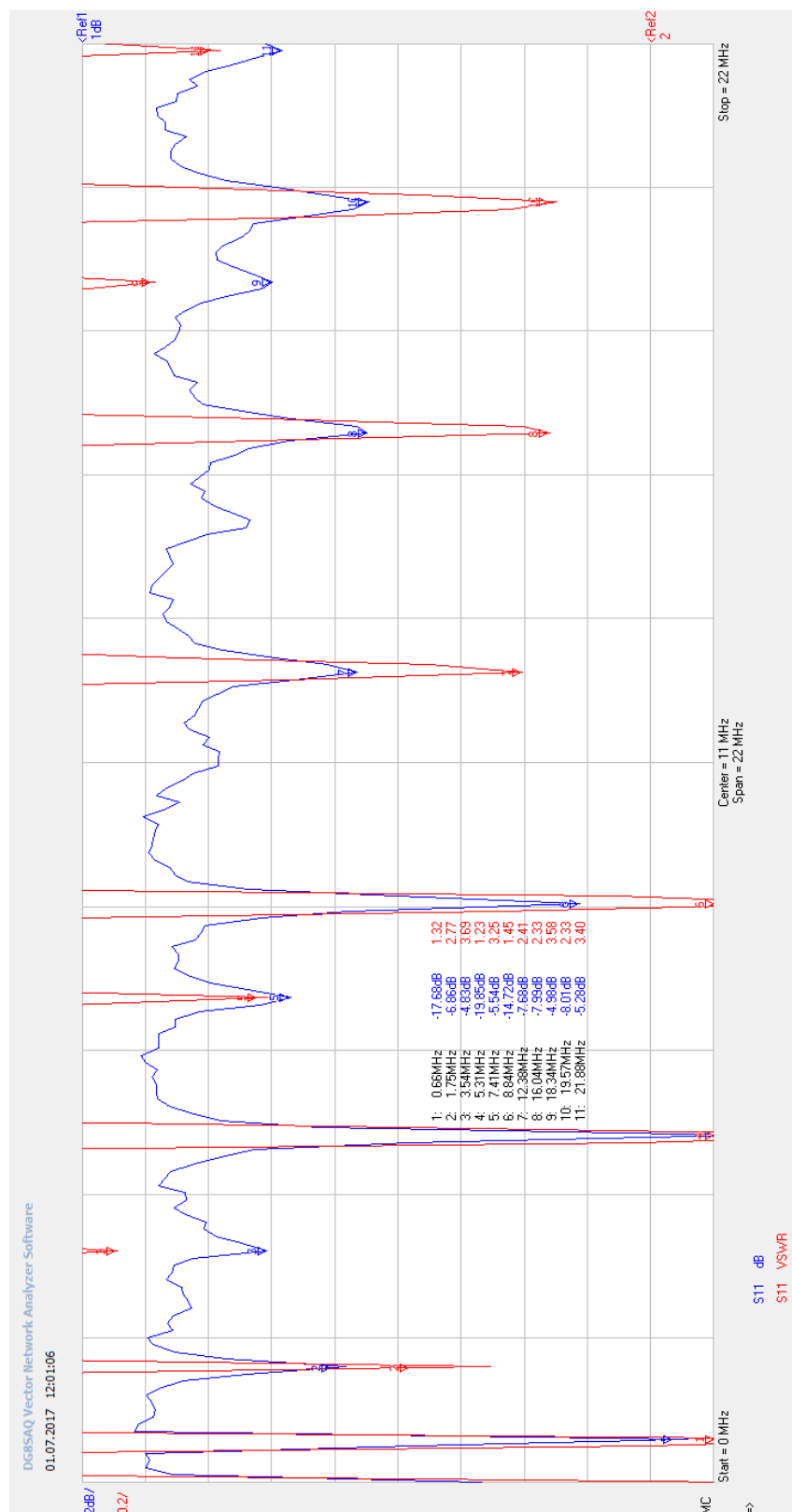
Použitá literatura

- [1] OK2KQM & OK6A.: Historie klubu OK2KQM & OK6A [online]. [cit. 2016-09-08]. Dostupné z: <http://radioklub.vsb.cz/index.php/aboutkqm/-history>
- [2] Amatérská radiokomunikační služba. ČTU [online]. Praha: Český telekomunikační úřad, 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/amaterska-radiokomunikacni-sluzba>
- [3] MATUSZCZYK, J: Antény prakticky. 2. české vydání. Praha: BEN, 2003, 240 s. ISBN 80-7300-109-8, ISBN 83-7300-109-8..
- [4] POLNÍ VEDENÍ - KABELY: Polní kabel PK-1 [online]. TECHNICKÁ PŘÍRUČKA pro důstojníky a praporčíky spojovacího vojska [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.csla.cz/vyzbroj/spojovaciprostredky/kabely.htm>
- [5] Anténní izolátor. E-shop [online]. [cit. 2016-12-13]. Dostupné z: www.ges.cz
- [6] Odpor vodiče a vodivost [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: http://213.151.86.106/sipvz/ze/tema/5.odpor_vodivost/5.odpor_vodivost_html.html
- [7] IKRÉNYI, Ing. Imrich. Amatérské a krátkovlnové antény. Bratislava: ALFA, 1972, 460 s. ISBN 63-009-72.
- [8] KV vícepásmová anténa podle WD3ZZ.: radioamater.cz [online]. Český radioklub prostřednictvím společnosti Cassiopeia Consulting a. s., 2003 [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://www.radioamater.cz/cisla/pdf/2003-3.pdf>
- [9] BURGER, Oldřich a Marek DVORSKÝ. Magnetická smyčková anténa pokaždé trochu jinak. Ostrava: EDUCA TV o.p.s, educa@btv.cz, 2015. ISBN 978-80-260-7485-4.
- [10] OK1APY. Bastlení [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <http://ok1apy.wz.cz>
- [11] HamRadioForum: Perfect modification of W3DZZ by OH2EC [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <https://www.hamradioforum.net/threads/5422-Perfect-modification-of-W3DZZ-by-OH2EC>
- [12] DK7ZB. Current balun [online]. [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <http://www.qsl.net/dk7zb>

Seznam příloh

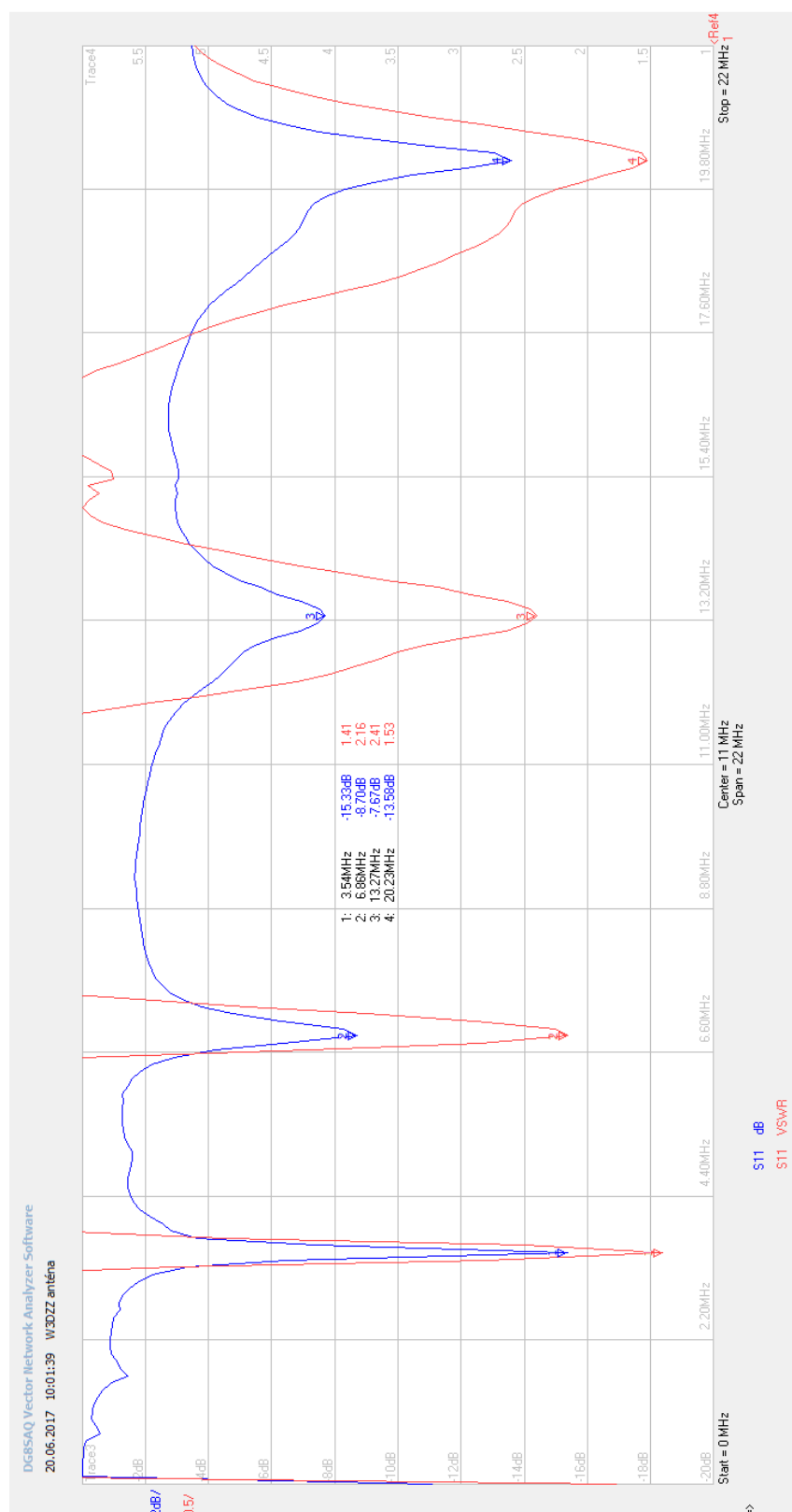
Příloha A:	Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV čtvercové antény	lxiv
Příloha B:	Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV W3DZZ antény	lxv
Příloha C:	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 3,6 MHz.....	lxvi
Příloha D:	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 7,006 MHz.....	lxvii
Příloha E:	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 13,917 MHz.....	lxviii
Příloha F:	Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 21,407 MHz	lxix
Příloha G:	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 3,646 MHz.....	lxx
Příloha H:	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 7 MHz.....	lxxi
Příloha I:	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 14,006 MHz	lxxii
Příloha J:	Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 21,015 MHz	lxxiii
Příloha K:	Univerzální LCR metr	lxxiv
Příloha L:	Vektorový analyzátor VNA.....	lxxiv
Příloha M:	Anténní analyzátor MFJ-269.....	lxxv
Příloha N:	Technické podmínky amatérské radiokomunikační služby	lxxv
Příloha O:	Anténní tuner Tesla UAC 1	lxxvi
Příloha P:	Anténní soustava.....	lxxvii
Příloha Q:	Výkresová dokumentace soustavy KV antén univerzitního radioklubu	lxxviii

Příloha A: Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV čtvercové antény

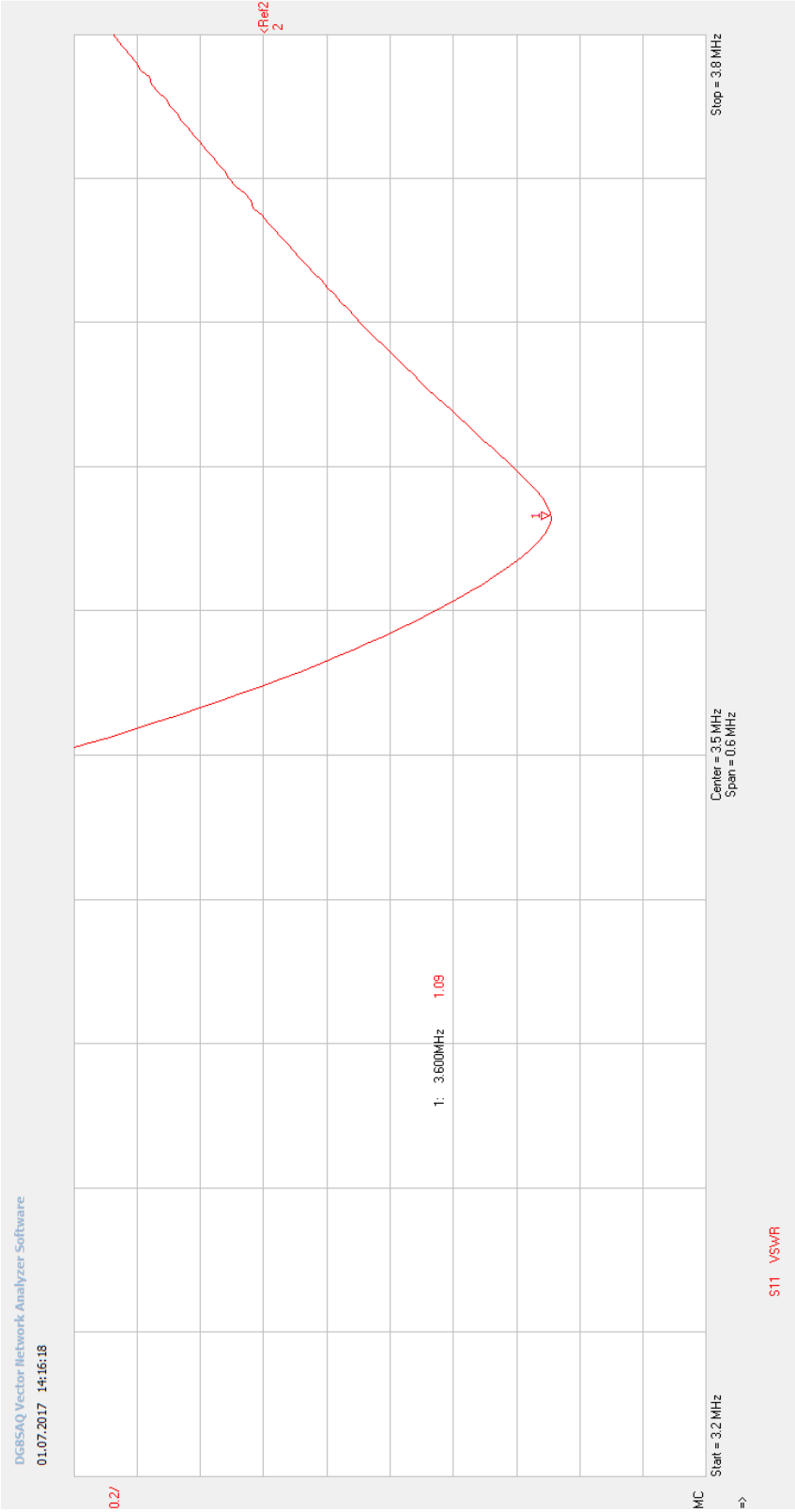


Příloha B:

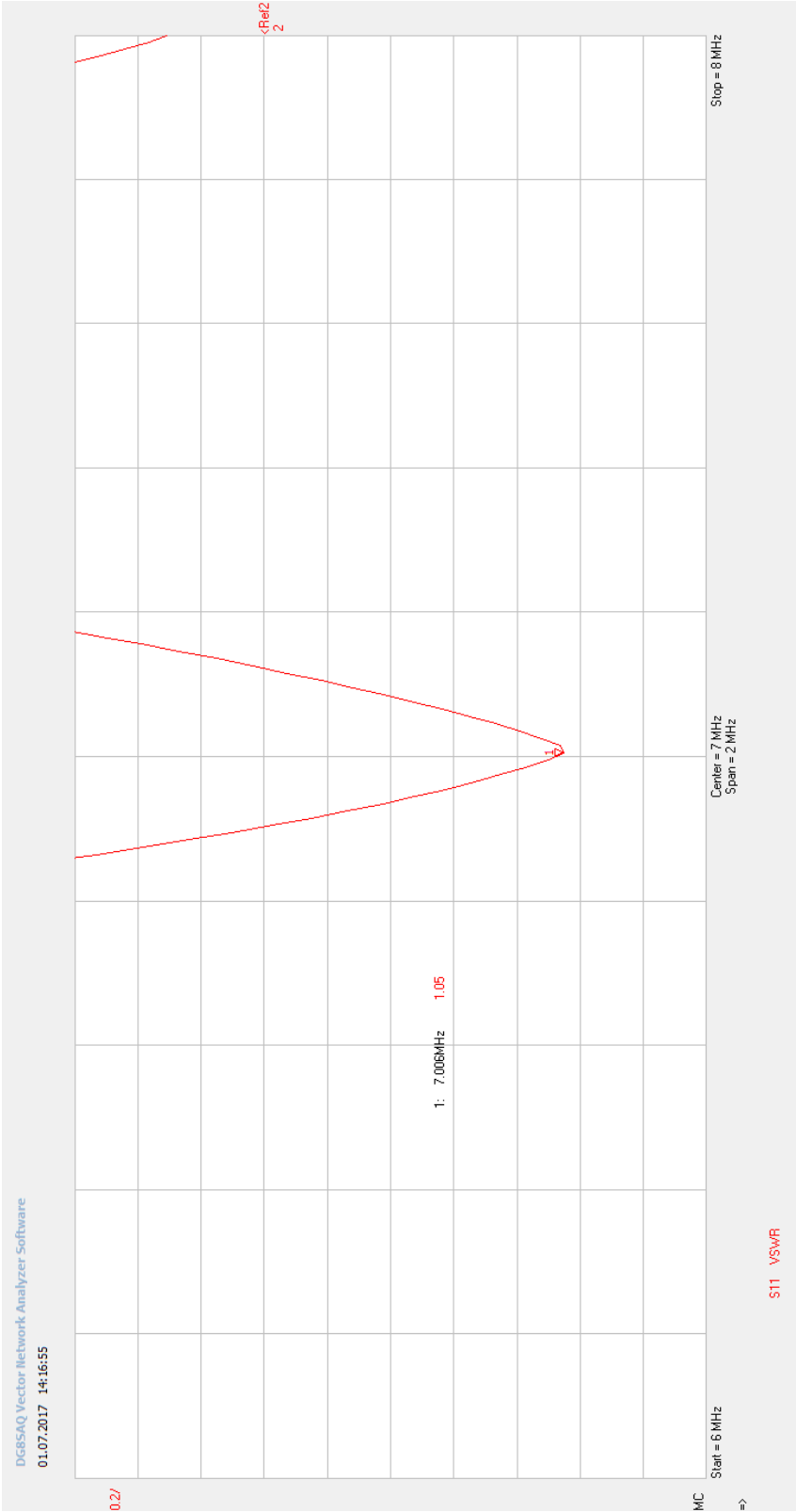
Charakteristika vstupního činitele S_{11} a PSV W3DZZ antény



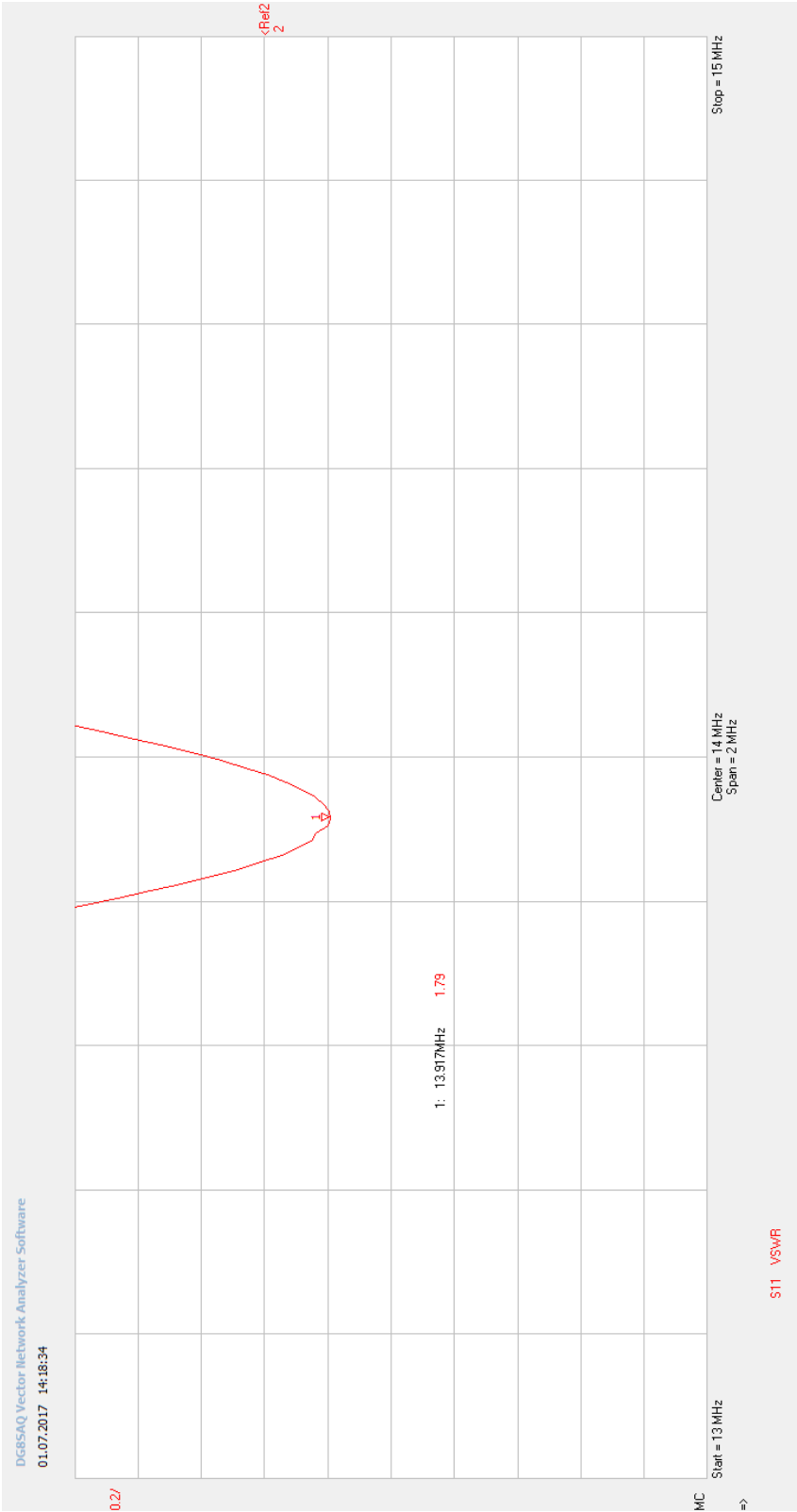
Příloha C: *Prizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 3,6 MHz*



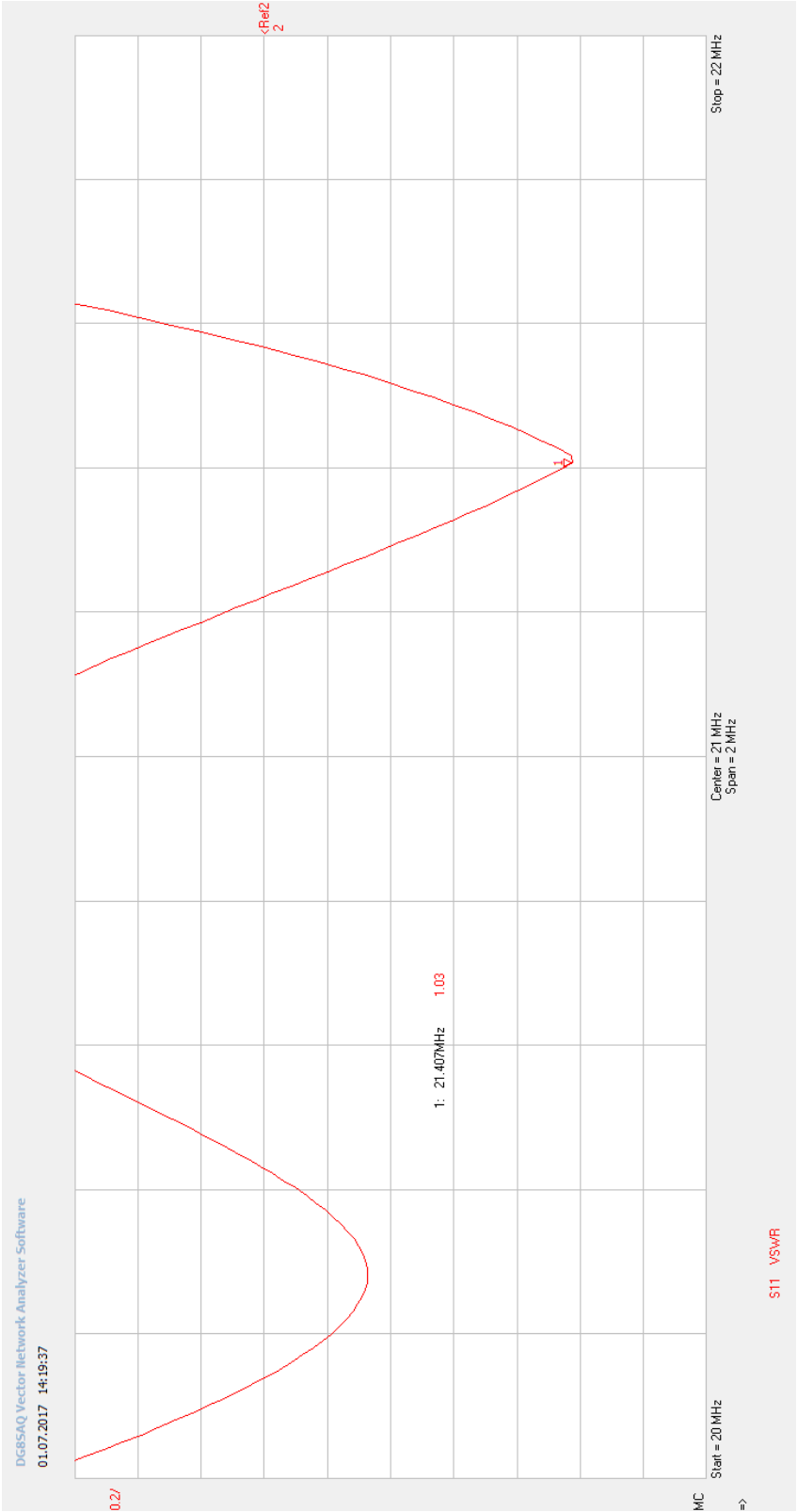
Příloha D: *Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 7,006 MHz*



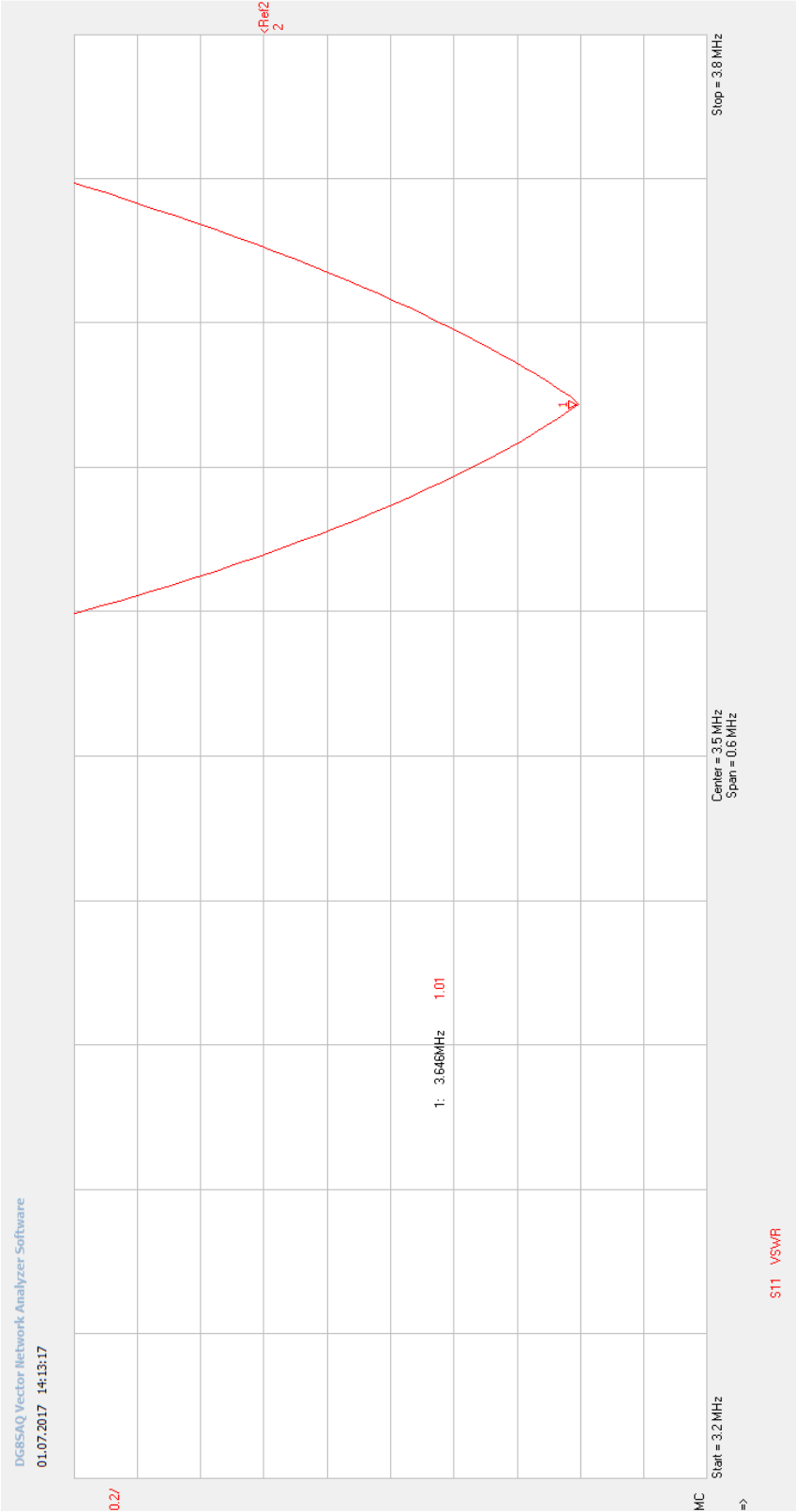
Příloha E: *Přizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 13,917 MHz*



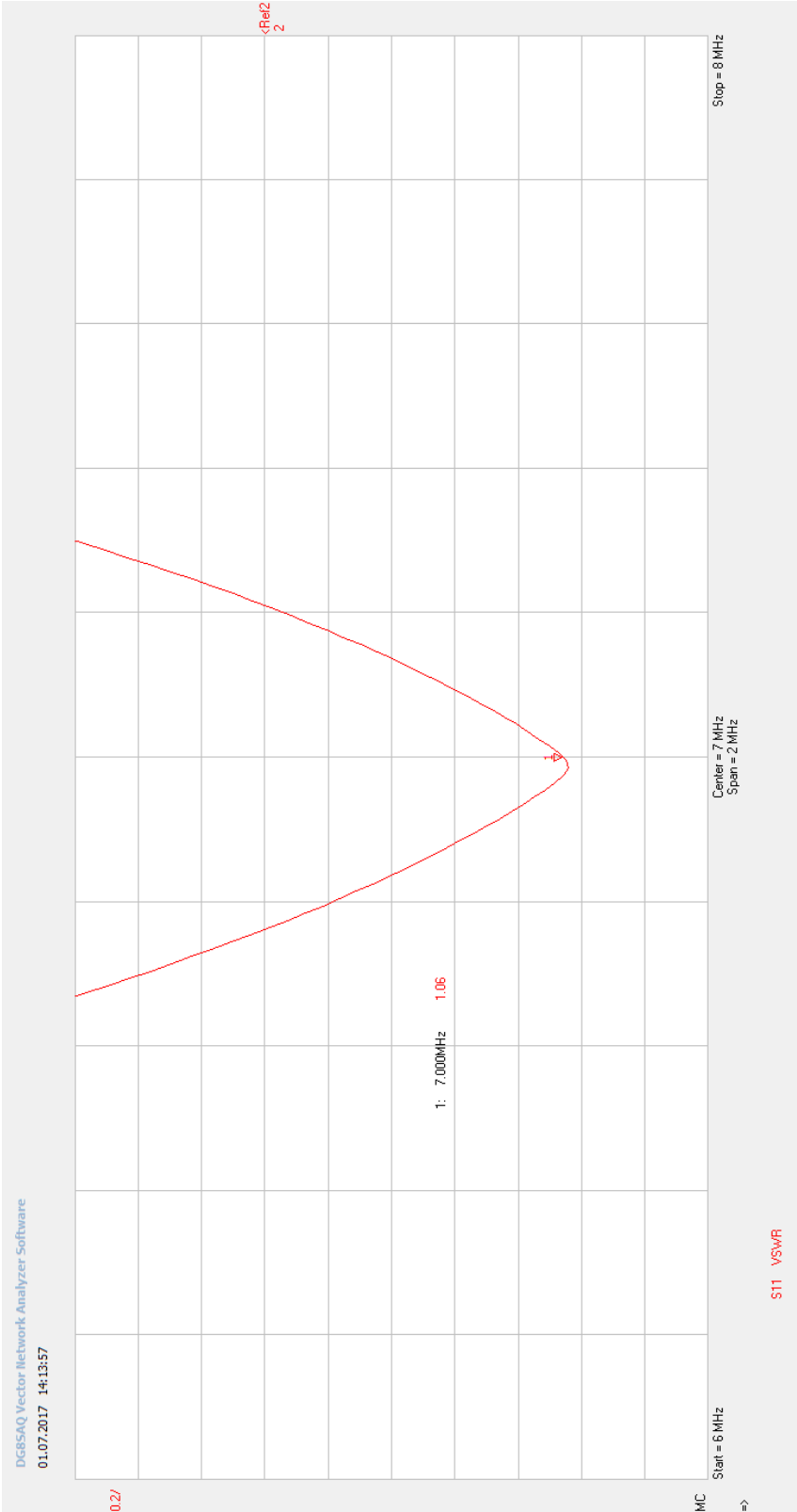
Příloha F: *Prizpůsobení čtvercové antény na kmitočtu 21,407 MHz*



Příloha G: *Prizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 3,646 MHz*

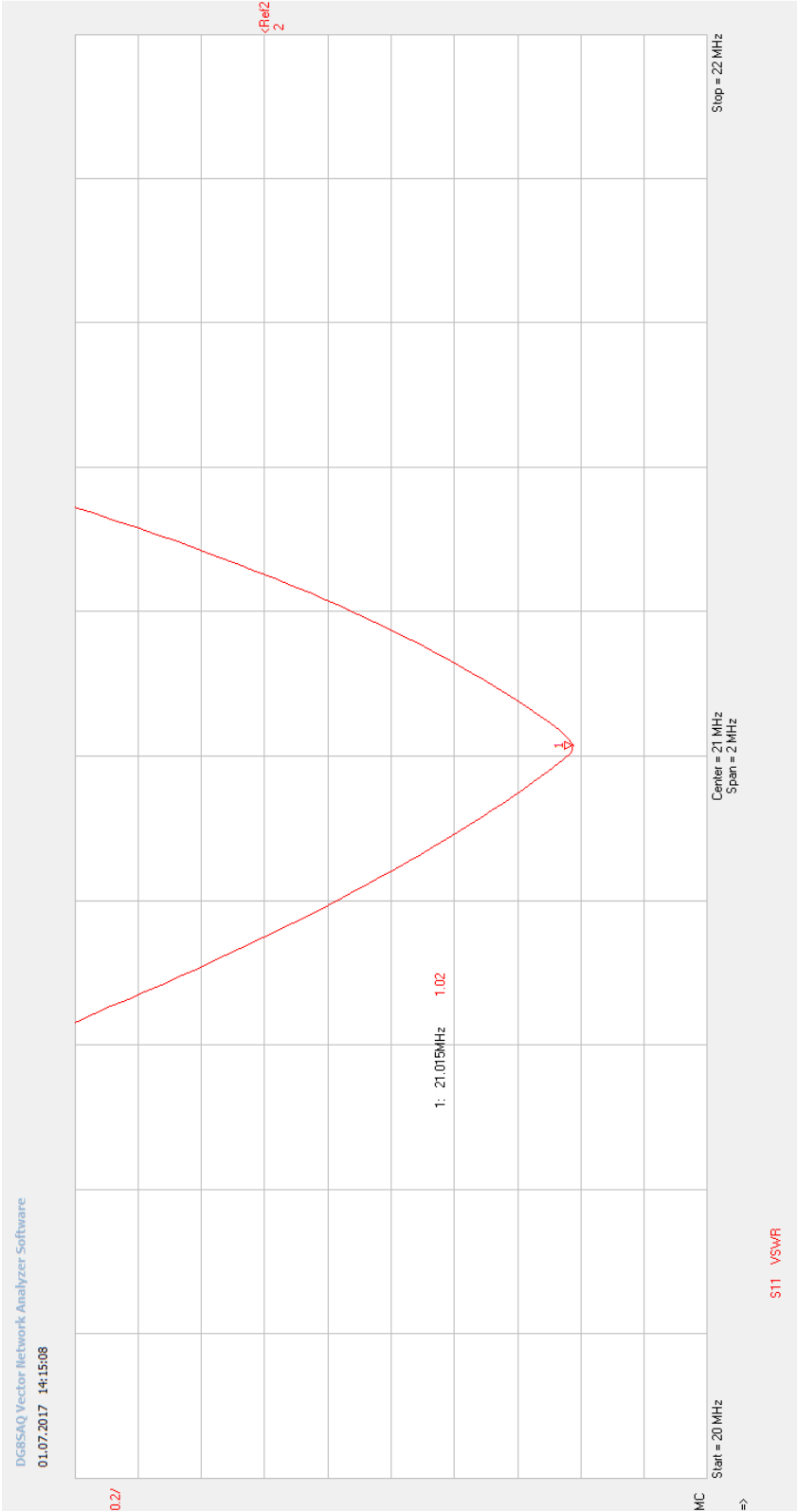


Příloha H: *Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 7 MHz*



Příloha I: *Přizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 14,006 MHz*

Příloha J: *Prizpůsobení W3DZZ antény na kmitočtu 21,015 MHz*



Příloha K: *Univerzální LCR metr*



Příloha L: *Vektorový analyzátor VNA*



Příloha M: *Anténní analyzátor MFJ-269*



Příloha N: *Technické podmínky amatérské radiokomunikační služby*

Kmitočtový rozsah	Střední výkon	Potlačení nežádoucí složky
9 kHz - 30 MHz		-40 dB, nejvýše však 50 mW středního výkonu
30 MHz - 235 MHz	>25 W	-60 dB, nejvýše však 1 mW středního výkonu
	<=25 W	-40 dB, nejvýše však 25 μ W středního výkonu
235 MHz - 960 MHz	>25 W	-60 dB, nejvýše však 20 mW středního výkonu
	<=25 W	-40 dB, nejvýše však 25 μ W středního výkonu
960 MHz - 17,7 GHz	>10 W	-50 dB, nejvýše však 100 mW středního výkonu
	<=10 W	Nejvýše 100 μ W výkonu
> 17,7 GHz		Co nejnižší podle současného stavu vývoje techniky (RR APS3)

Příloha O: *Anténní tuner Tesla UAC 1*

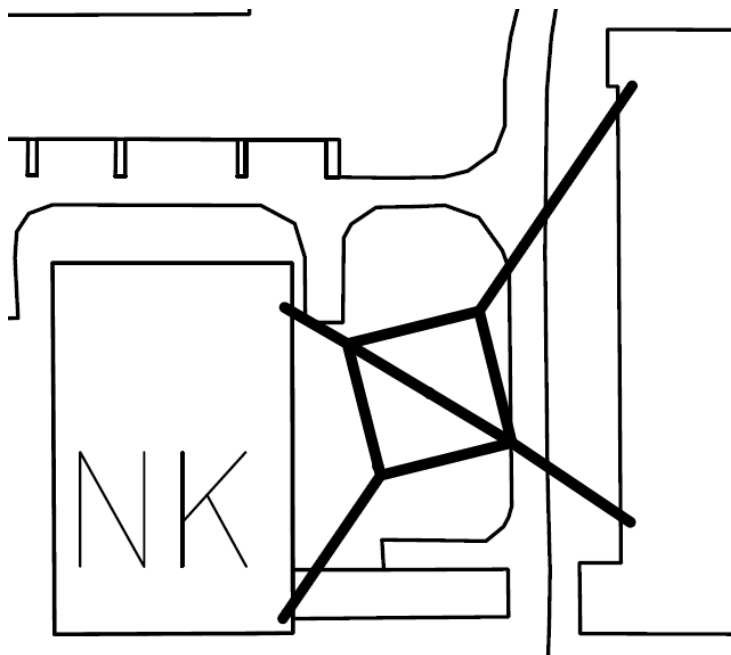


Příloha P: *Anténní soustava*



Anténní soustava

Anténní soustava je složena ze dvou částí. První část tvoří čtvercová anténa s délkou jedné strany 20,4 m. Druhá část tvoří anténa typu W3DZZ po úhlopříčce s délkou 33,6 m. Anténní soustava je vodorovně zavěšena ve výšce 15 m mezi budovami NK a E. Je přes izolátory natažena pomocí kotvících lan o délkách 13 m, 24 m, 28 m, 44 m, které jsou připevněny do kotvících bodů. První dva se nacházejí na střeše budovy E, kde do konstrukčního hliníkové profilu solárních panelů jsou vyvrtány dva otvory, pro připevnění kotevních prvků. Druhé dva kotvící body jsou na střeše NK, kde v levém rohu budovy bude použita konstrukce, která je nevyužita. Druhá konstrukce bude vyrobena a použita v pravém rohu budovy jakožto poslední čtvrtý kotevní bod. Čtvercová anténa je napájena symetrickým napáječem a anténa W3DZZ 50 Ω koaxiálním kabelem. Pro přizpůsobení vstupní impedance je použit anténní přizpůsobovací obvod. Pro radioamatéry jsou nejzajímavější oblasti zámořské (mimoevropské kontinenty). Atraktivní jsou USA, Kanada, a proto je požadovaný směr pro vysílání severozápad (azimut $320^\circ = -40^\circ$). Anténní soustava je pootočená tímto směrem.



Obrázek 1.1: *Anténní soustava*

Hmotnost anténní soustavy a výpočet tahových sil antény

Pro výpočet předpokládané hmotnosti celé anténní soustavy je nutno započítat veškeré komponenty.

- Vázací drát 0,013 kg
- Kotevní lano 0,9 kg
- Napáječe 4 kg
- Balun 0,412 kg
- Trapy 0,312 kg
- Izolátory 0,198 kg

Předpokládaná hmotnost anténní soustavy je 5,8 kg.

Rovnováhu sil lze vyjádřit následovně:

$$M_v = M_h [1]$$

$$F_v * \frac{a}{4} = F_h * f_{max} [1]$$

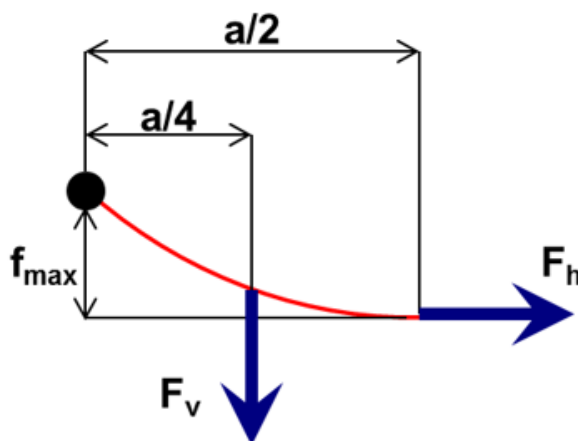
Princip odvození – momentová rovnováha sil.

F_v = vertikální síla (čím je dána?)

Vertikální síla je dána hmotností (měrnou hmotností) vodiče

F_h – horizontální síla udržuje vodič v rovnovážné poloze (čím je dána?)

Horizontální síla je dána dovoleným vodorovným namáháním vodiče σ_h



Obrázek 1.2: Odvození maximálního průhybu

Vertikální sílu lze vyjádřit:

$$F_v = \gamma * \frac{a}{2} [1]$$

Kde γ je měrná hmotnost vodiče [N/m³]

Horizontální sílu lze vyjádřit:

$$F_h = \sigma_h [1]$$

Kde σ je dovolené vodorovné namáhání vodiče [N/m²]

Po úpravě:

$$M_v = M_h$$

$$F_v * \frac{a}{4} = F_h * f_{max}$$

$$\sigma_h * f_{max} = \gamma * \frac{a}{2} * \frac{a}{4}$$

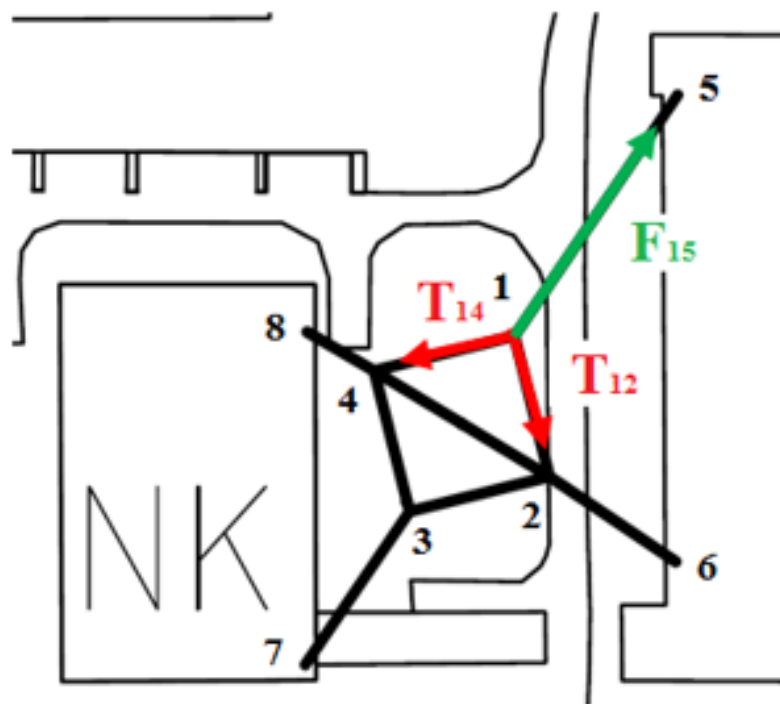
$$f_{max} = \frac{a^2 * \gamma}{8 * \sigma_h} \text{ [m; m}^2\text{, N/m}^3\text{, N/m}^2\text{]}$$

Při výpočtu se musí uvažovat zvětšená hmotnost vodiče vlivem námrazku.

$$f_{max} = \frac{a^2 * \gamma * z}{8 * \sigma_h} \text{ [m; m}^2\text{, N/m}^3\text{, N/m}^2\text{]}$$

$$\text{Napětí v anténě: } \sigma = \frac{a^2 \gamma}{8 f} = \frac{a^2 g \rho}{8 f}$$

$$\text{Tahová síla v anténě: } T = S\sigma = \frac{a^2 g S \rho}{8 f} = \frac{a^2 g \mu}{8 f}, \text{ kde } \mu \text{ je hmotnost na jednotku délky lana.}$$



Obrázek 1.3: Výpočet tahových sil

Odhad napětí a tahové síly na anténě: Při $a = 20,4$ m, průhyb uprostřed $f = 0,1$ m, $\mu = 0,013$ kg/m.

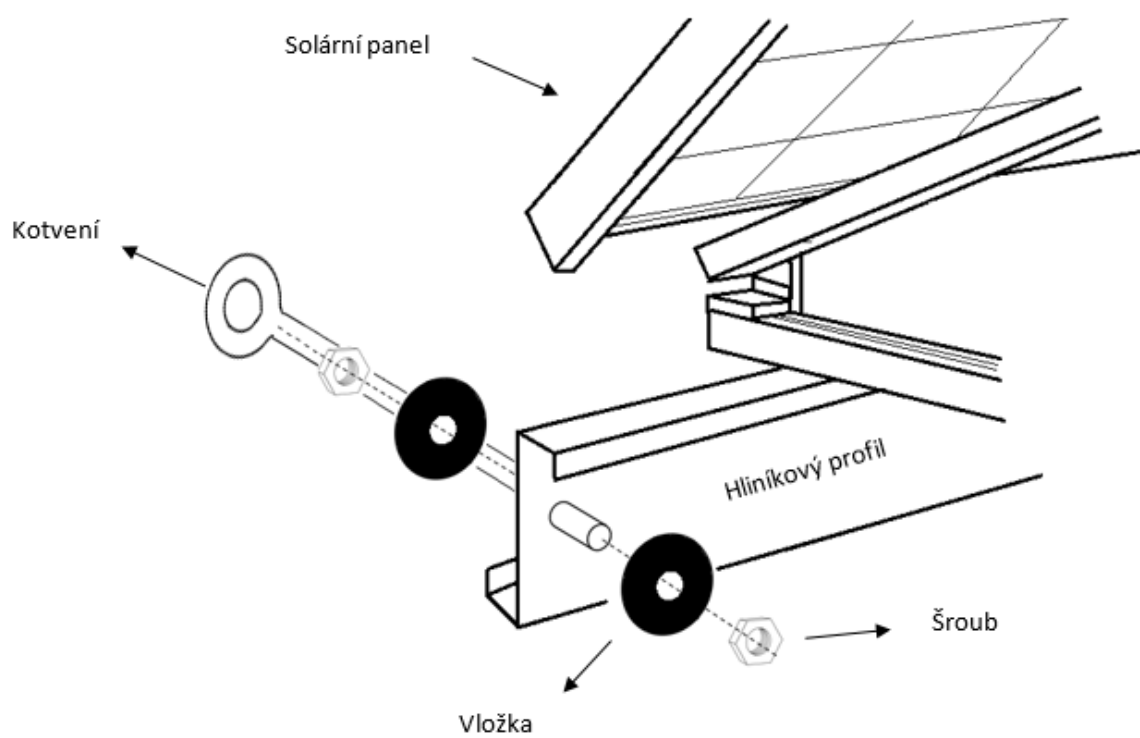
$$T = S\sigma = \frac{a^2 g S\rho}{8f} = \frac{a^2 g \mu z}{8f} = \frac{20,4^2 \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot 2,56}{8 \cdot 0,1} = 169,8 \text{ N}$$

Pro jednoduchý případ na obrázku jsou všechny síly T stejné a všechny síly F stejné, platí
 $F = 2T \cos \frac{\pi}{4} = T\sqrt{2} = 240 \text{ N}.$

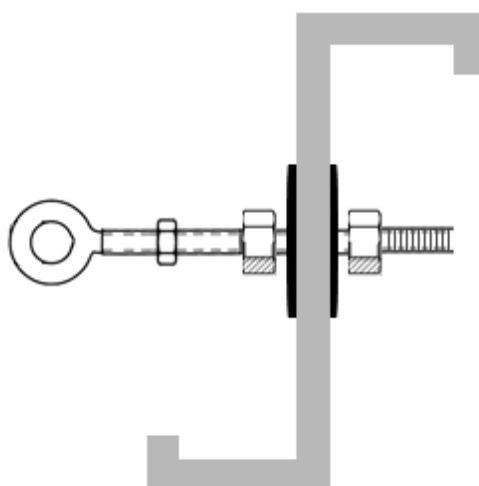
Tahová síla na anténě i s vlivem námrazku je 16,98 kg. Při započítání celkové hmotnosti anténní soustavy 5,8 kg se tahová síla zvýší na 22,78 kg.

Tahová síla kotevních lan i při započítání celkové hmotnosti anténní soustavy a námrazku je 32,2 kg.

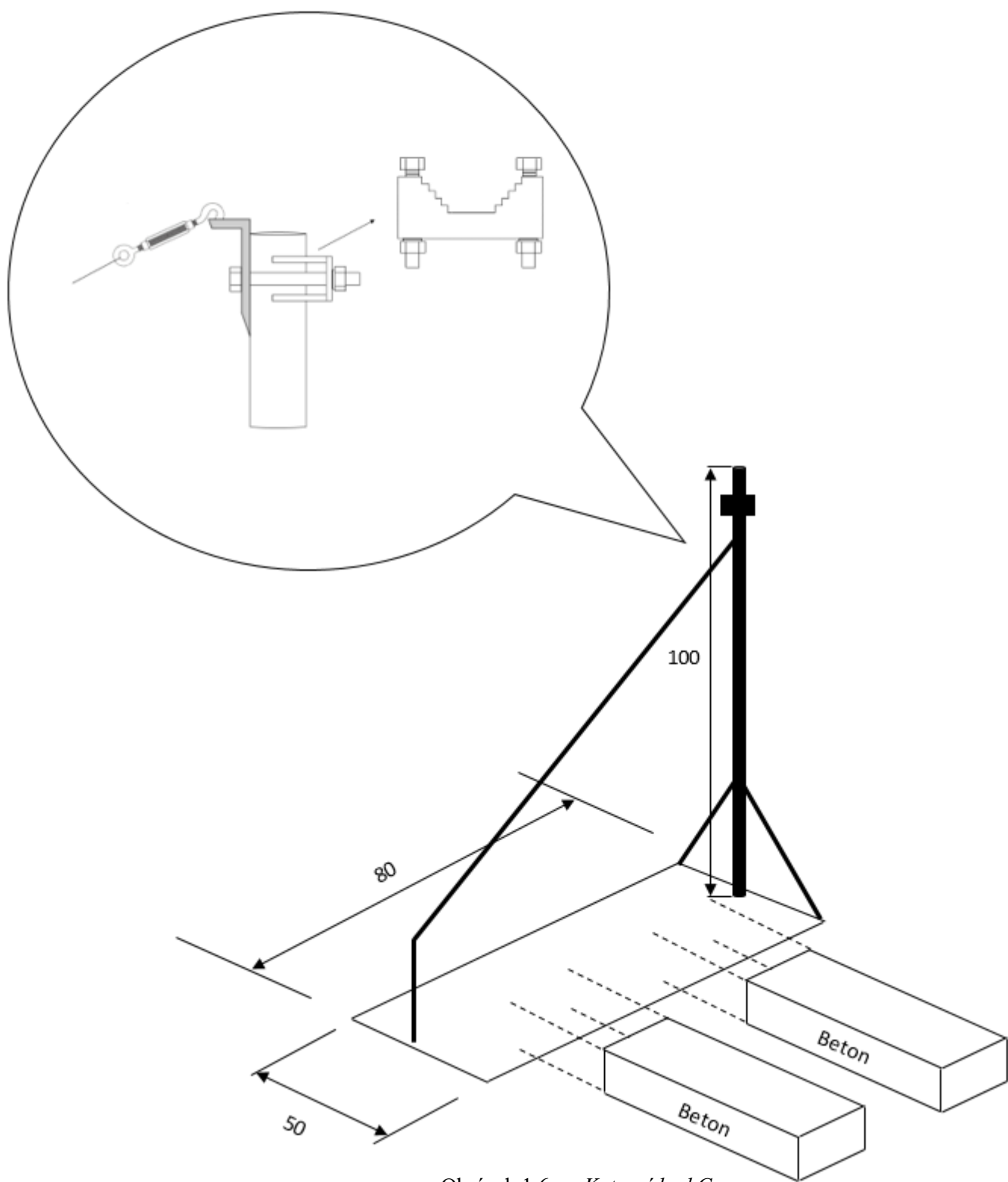
Kotvící body a technický výkres



Obrázek 1.4: *Kotevní body A, B*

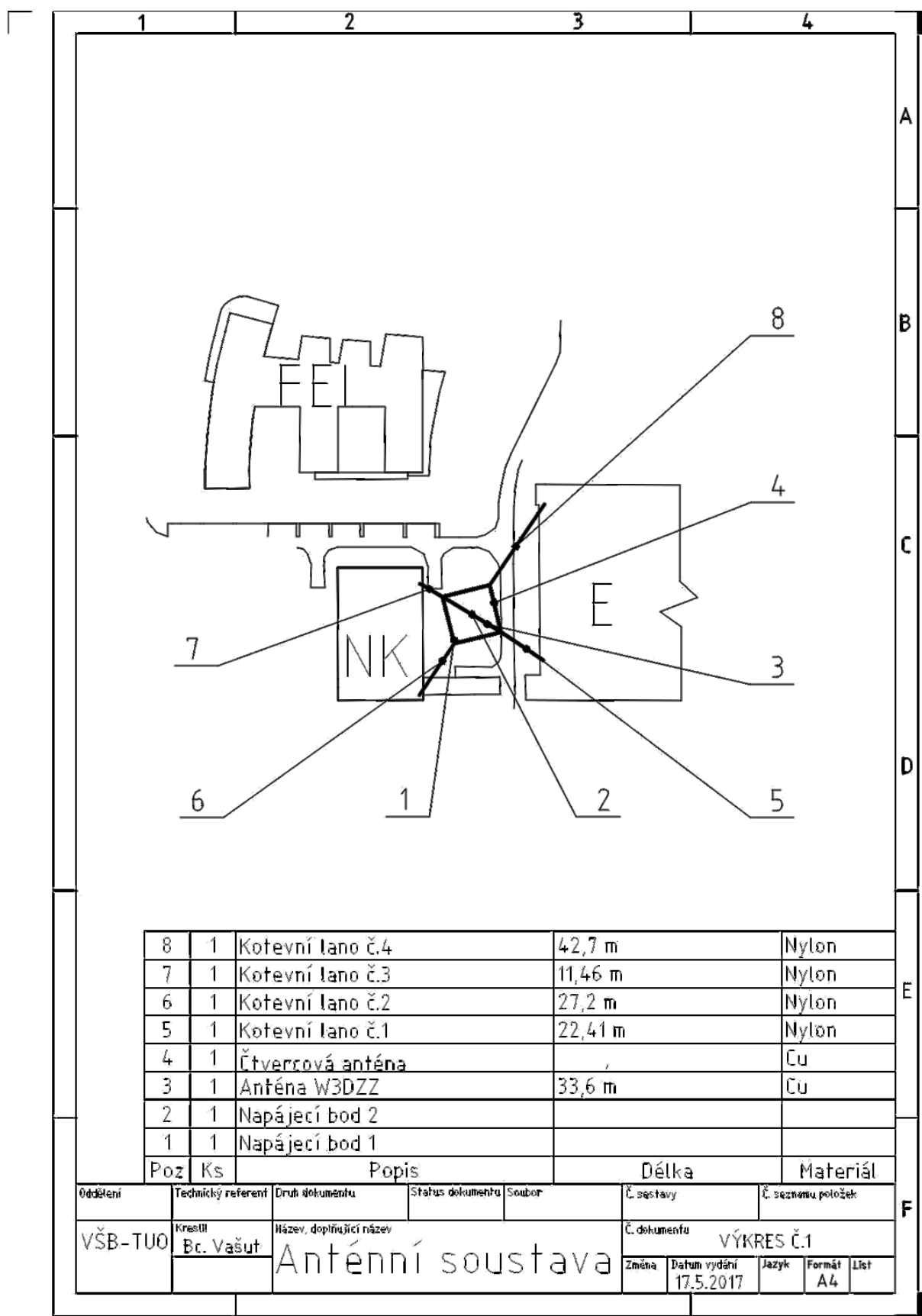


Obrázek 1.5: *Ukázka kotvy*



Obrázek 1.6: *Kotevní bod C*

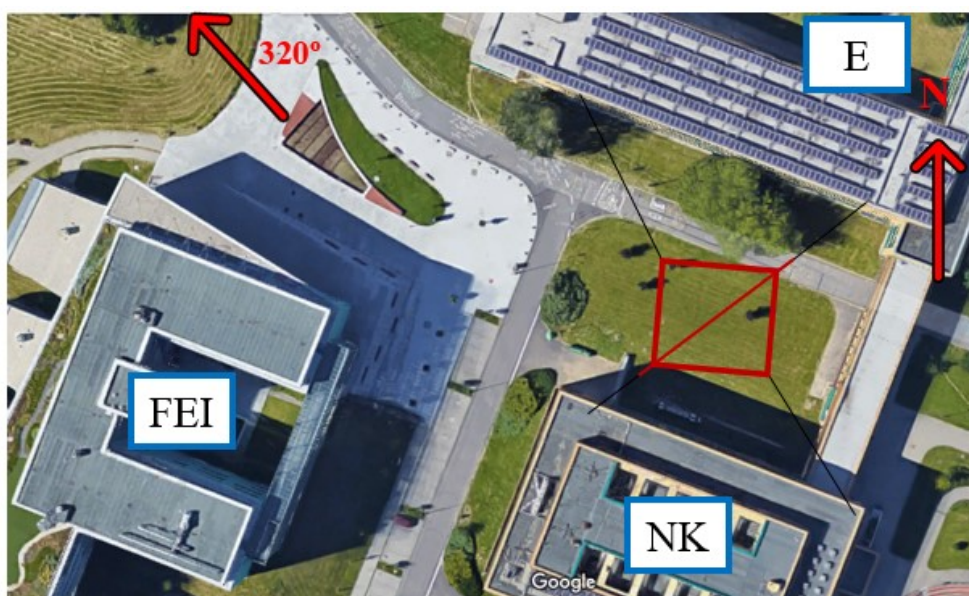




Pracovní postup montáže anténní soustavy

Jako prvně bude provedena kontrola veškerého materiálu pro stavbu anténní soustavy. Po uskutečnění kontroly bude následovat změření geometrických délek obou antén. Poté budou všechny materiály odneseny ven před budovu, kde bude sestrojena čtvercová a W3DZZ anténa. Dále budou z obou střech spuštěny kotevní lana, která se připevní ke čtvercové anténě přes izolátory. W3DZZ anténa s natáhne a připevní po úhlopříčce. Z radioklubu budou spuštěny napáječe, které se připojí k anténám. V posledním kroku bude následovat vyzvednutí celé anténní soustavy do výšky 15 m a ukotvení kotvicích lan na střechách budov NK a E.

Z důvodu stavby anténní soustavy bude o víkendu nutná uzavírka místní komunikace. Předpokládaná doba montáže jsou tři hodiny. Minimální počet pracovníků pro montáž jsou čtyři.



Obrázek 1.8: Satelitní snímek s vyznačením anténní soustavy

Použitá literatura

- [1] *Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická a Vyšší odborná škola: Elektroenergetika* [online]. [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: https://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/prezentace/elektroenergetika/4_rocni_k/20_mechanika_vedeni.ppsx